

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інженерно-фізичний факультет**

**Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів**

«На правах рукопису»  
УДК 669.018.9

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ М. М. Ямшинський  
«07» грудня 2018 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 136 - Металургія**

**на тему: «Формувальна суміш для промислового та художнього литва з  
неорганічними полімерними добавками»**

Виконала: студентка VI курсу, групи ФЛ-72мп

Кущерева Анжела Станіславівна \_\_\_\_\_

Керівник к.т.н., доцент Лютий Р. В. \_\_\_\_\_

Консультант з охорони к.т.н., доцент Зацарний В. В. \_\_\_\_\_  
праці та безпеки в  
надзвичайних ситуаціях:

Консультант з к.е.н., доцент Глущенко Я. І. \_\_\_\_\_  
організаційно-  
економічної частини

Консультант к.т.н., доцент Федоров Г. Є. \_\_\_\_\_  
з нормоконтролю

Рецензент ст. викл. Прилуцький М. І. \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.  
Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інженерно-фізичний факультет**

**Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність – 136 Металургія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М. М. Ямшинський

«07» грудня 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Кущеревій Анжелі Станіславівні**

**1. Тема дисертації:** «Формувальна суміш для промислового та художнього литва з неорганічними полімерними добавками», науковий керівник дисертації Лютий Ростислав Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2018 р. №4127-с;

**2. Термін подання студентом дисертації:** 07 грудня 2018 року;

**3. Об'єкт дослідження:** оборотна піщано-глиняста суміш;

**4. Вихідні дані:** матеріали науково-дослідної практики; результати огляду науково-технічної літератури; оборотна піщано-глиняста суміш;

**5. Перелік завдань, які потрібно розробити:** **5.1** Проаналізувати властивості існуючої оборотної суміші у сирому і сухому стані та визначити показники, які найбільш негативно впливають на якість литва; **5.2** Дослідити вплив трьох добавок (триполіфосфату натрію; гексаметафосфату натрію; зв'язувального компонента на основі триполіфосфату натрію) у кількості до 2,0% на властивості суміші у сирому та у сухому стані; **5.3** Визначити найбільш ефективний матеріал із поліфосфатів натрію та його оптимальну кількість для покращення комплексу властивостей; **5.4** Виготовити ливарні форми для заливання чавуном та алюмінієвим сплавом і встановити вплив добавок на якість поверхонь одержаних виливків; **5.5** Розробити рекомендації

щодо застосування добавок поліфосфатів натрію для приготування оборотної піщано-глинястої суміші; **5.6** Провести аналіз площі та об'єму лабораторії, мікроклімату в лабораторії, визначити шкідливі та небезпечні фактори, розробити заходи протипожежної безпеки та захисту навколишнього середовища; **5.7** Оцінити параметри економічної ефективності наукового дослідження та розробити на його основі стартап-проект

**6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:** **6.1** Аналіз властивостей цехової піщано-глинястої суміші; **6.2** Дефекти виливків та способи їх усунення; **6.3** Полімерні фосфати: екологічна проблема; **6.4** Вплив добавок на міцність суміші в сирому стані; **6.5** Вплив добавок на технологічні властивості; **6.6** Вплив добавок на міцність суміші при розриві в сухому стані; **6.7** Порівняльний аналіз міцності при стисканні та обсипаємості сирої суміші; **6.8** Порівняльний аналіз міцності при розриві та обсипаємості сухої суміші; **6.9** Оцінка ефективності; **6.10** Висновки

**7. Орієнтовний перелік публікацій:** **7.1** Тези: Регенерація піщано-глинястої формувальної суміші / Лютий Р.В., Кущерева А.С. / Прикладні науково-технічні дослідження. – Івано-Франківськ, 2017. – С. 118; **7.2** Тези: Процес регенерації і освіження відпрацьованої лабораторної формувальної суміші / Лютий Р.В., Кущерева А.С. / Нові матеріали і технології в машинобудуванні. – Київ, 2017. – С.101...102; **7.3** Тези: Технологія синтезу і фазовий склад фосфатних зв'язувальних компонентів для ливарних стрижнів / Лютий Р.В., Люта Д.В., Скирденко М.В., Кущерева А.С. / Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів. – Київ, 2018. – С.160...161; **7.4** Тези: Дослідження процесів зміцнення сумішей з алюмінатом натрію / Лютий Р.В., Шейко О.І., Скирденко М.В., Кущерева А.С. / Нові матеріали і технології в машинобудуванні. – Київ, 2018. – С.115...116.

## 8. Консультанти розділів дисертації

| Розділ  | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---|---|----------------|------------------|
|   |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Зацарний В.В., доцент                     |                |                  |
| Організаційно-економічна частини                  | Глущенко Я.І., доцент                     |                |                  |
| Нормоконтроль                                     | Федоров Г.Є., доцент                      |                |                  |

**9. Дата видачі завдання:** 3 вересня 2018 року

### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації                      | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|--|--|----------|
| 1     | Переддипломна науково-дослідна практика                              | 03.09...28.10.2018р.                             |          |
| 2     | Опрацювання та аналіз літератури за темою                            | 03.09...07.10.2018р.                             |          |
| 3     | Відпрацювання методик проведення експериментів                       | 10.09...12.09.2018р.                             |          |
| 4     | Планування експериментів   | 13.09...14.09.2018р.                             |          |
| 5     | Виготовлення зразків, їх дослідження та аналіз результатів           | 17.09...12.10.2018р.                             |          |
| 6     | Виготовлення форм, заливання та опис результатів                     | 15.10...01.11.2018р.                             |          |
| 7     | Розробка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях | 02.11...09.11.2018р.                             |          |
| 8     | Розробка організаційно-економічного розділу                          | 12.11...16.11.2018р.                             |          |
| 9     | Оформлення магістерської дисертації                                  | 19.11...05.12.2018р.                             |          |
| 10    | Оформлення презентації   | 06.12...12.12.2018р.                             |          |
| 11    | Рецензування   | 13.12.2018р.                                     |          |
| 12    | Захист роботи  | 19.12.2018р.                                     |          |

Студент

Кущерева А.С.

Науковий керівник дисертації

Лютий Р.В.

## РЕФЕРАТ

**Магістерська дисертація:** 89 с., 24 рис., 41 табл., 27 посилань.

**Об'єкт дослідження:** оборотна піщано-глиняста суміш.

**Предмет дослідження:** фізико-механічні та технологічні властивості суміші у сирому та сухому стані та вплив на них добавок полімерних фосфатів натрію.

**Мета роботи:** вивчення впливу добавок поліфосфатів натрію на властивості оборотної піщано-глинястої суміші у сирому і сухому стані для підвищення якості виливків із залізовуглецевих і алюмінієвих сплавів.

**Методи дослідження:** приготування зв'язувального компонента за оригінальною схемою, стандартні методи приготування сумішей і випробування їх властивостей, виготовлення і заливання форм чавуном і алюмінієвим сплавом.

**Результати дослідження:** визначено позитивний вплив неорганічних полімерних добавок у кількості до 2,0% на властивості оборотної суміші в сухому стані. Забезпечено підвищення міцності в 3 рази та зниження обсипаємості в 2 рази, що забезпечує одержання виливків із залізовуглецевих сплавів з належною якістю литих поверхонь.

**Значущість роботи:** в роботі вперше запропоновано використання полімерних фосфатів натрію як добавок до піщано-глинястих сумішей та отримано позитивні результати щодо підвищення якості виливків із залізовуглецевих та алюмінієвих сплавів.

**Галузі застосування:** ливарне виробництво будь-якої серійності, виготовлення виливків із чавуну, сталі та алюмінієвих сплавів малої та середньої маси у піщано-глинястих формах по-сирому та по-сухому.

**Економічна ефективність** – умовний економічний ефект 173860 грн.

**Прогнозовані припущення:** рекомендувати застосування триполіфосфату натрію в кількості 1% або гексаметафосфату натрію в кількості 0,5% у ливарних цехах, в яких багаторазово використовують оборотні суміші для реалізації формування по-сухому або по-сирому.

ВИЛИВОК, ВІДНОВЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ,  
ГЕКСАМЕТАФОСФАТ НАТРІЮ, МІЦНІСТЬ, ОБОРОТНА СУМІШ,  
ОБСИПАЄМІСТЬ, ПРОФОСФАТ НАТРІЮ, ПОЛІМЕРНИЙ ФОСФАТ  
НАТРІЮ, ТРИПОЛІФОСФАТ НАТРІЮ

## ABSTRACT

**Master's dissertation contains:** 89 p., 24 fig., 41 tab., 27 ref.

**Object of research:** reversible sand and clay mix

**Subject of research:** physico-mechanical and technological properties of the mixture in raw and dry state and the effect on them of additives of polymeric sodium phosphates.

**Purpose:** to study the influence of sodium polyphosphate additives on the properties of a reversible sand and clay mixture in raw and dry state for improving the quality of castings of iron-carbon and aluminum alloys.

**Methods of research:** preparation of the binding component according to the original scheme, standard methods of preparation of mixtures and testing their properties, manufacturing and casting of forms with cast iron and aluminum alloy.

**The results of the study:** the positive influence of inorganic polymeric additives in the amount up to 2.0% on the properties of the reverse mixture in a dry state has been determined. There is a 3-times increase in durability and 2-times reduction in the bulk density, which ensures the production of castings of iron-carbon alloys with the proper quality of cast surfaces.

**Significance of work:** for the first time, the use of polymeric phosphates as additives to sand and clay mixtures was proposed and positive results were obtained regarding the improvement of the quality of castings of iron-and-aluminum and aluminum alloys.

**Areas of application:** foundry production of any seriality, manufacture of castings of cast iron, steel and aluminum alloys of small and medium weight in sandy-clay molds in raw and dry.

**Economic efficiency:** conditional economic effect 173860 UAH.

**Forecasted assumptions:** to recommend the use of sodium tripolyphosphate in the amount of 1% or hexametaphosphate of sodium in the amount of 0.5% in foundry shops, in which reusable mixtures are used repeatedly for the implementation of dry or wet forming.

CASTING, CRUMBLE ABILITY, POLYMERIC SODIUM PHOSPHATE, PROPERTIES RESTORATION, REVERSIBLE MIXTURE, RESISTANCE, SODIUM HEXAMETAPHOSPHATE, SODIUM PYROPHOSPHATE, SODIUM TRIPOLIFOSPHATE.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 9  |
| 1 ПІЩАНО-ГЛИНЯСТІ ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ ТА СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ.....            | 11 |
| 1.1 Склад та область використання формувальних піщано-бентонітових сумішей .....            | 11 |
| 1.2 Властивості сумішей та їх вплив на якість виливків .....                                | 17 |
| 1.3 Добавки для регулювання властивостей .....  | 22 |
| 1.4 Висновки і постановка задач .....   | 26 |
| 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....  | 28 |
| 2.1 Матеріали .....   | 28 |
| 2.2 Методика приготування сумішей .....   | 29 |
| 2.3 Визначення властивостей.....  | 30 |
| 2.3.1 Вміст глинястої складової.....  | 30 |
| 2.3.2 Міцність у сирому стані .....   | 30 |
| 2.3.3 Міцність у сухому стані .....   | 30 |
| 2.3.4 Обсипаємість.....   | 31 |
| 2.3.5 Газопроникність.....  | 32 |
| 2.3.6 Текучість .....   | 32 |
| 2.3.7 Ущільнювальність .....  | 33 |
| 2.3.8 Формувальність .....  | 33 |
| 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІМЕРНИХ ФОСФАТІВ НАТРІЮ НА ВЛАСТИВОСТІ ПІЩАНО-ГЛИНЯСТОЇ СУМІШІ..... | 34 |
| 3.1. Вплив добавок на властивості в сирому стані .....                                      | 34 |
| 3.2 Вплив добавок на властивості в сухому стані .....                                       | 45 |
| 3.3. Порівняльний аналіз добавок .....  | 51 |
| 3.4. Застосування добавок для лиття чавуну та алюмінієвих сплавів .....                     | 54 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....                                   | 59 |
| 4.1 Вступ .....   | 59 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.2 Аналіз параметрів мікроклімату в приміщенні .....   | 60        |
| 4.3 Аналіз освітленості приміщення .....  | 62        |
| 4.4 Аналіз рівня шуму .....   | 63        |
| 4.5 Аналіз запиленості повітря робочої зони пилом .....   | 64        |
| 4.6 Електробезпека .....  | 65        |
| 4.7 Пожежна безпека .....   | 66        |
| 4.8 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям .....                                | 67        |
| 4.9 Висновки .....  | 68        |
| <b>5 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....</b>  | <b>69</b> |
| 5.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....   | 69        |
| 5.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження .....   | 70        |
| 5.2.1 Витрати на оплату праці.....  | 70        |
| 5.2.2 Єдиний соціальний внесок .....  | 72        |
| 5.2.4 Витрати на спеціальне обладнання.....   | 73        |
| 5.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій.....  | 74        |
| 5.2.6 Витрати на службові відрядження.....  | 74        |
| 5.2.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат.....  | 74        |
| 5.2.8 Накладні витрати .....  | 74        |
| 5.2.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості<br>теми .....                           | 75        |
| 5.3 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок<br>показників економічної ефективності..... | 76        |
| 5.4 Висновки .....  | 78        |
| <b>6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....</b>   | <b>79</b> |
| 6.1. Опис ідеї проекту.....   | 79        |
| 6.2 Висновки .....  | 84        |
| <b>ВИСНОВКИ .....</b>   | <b>85</b> |
| <b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>   | <b>87</b> |
| <b>ДОДАТКИ .....</b>  | <b>89</b> |



## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Лабораторна суміш використовується багато років із невеликим відсотком освіження. Її властивості далекі від належного рівня. Для чавунного і сталевих литва форми піддають сушінню при температурі 150...160 °С, після чого спостерігається висока обсипаємість (до 5%), і якість литва не може бути задовільною.

Для покращення комплексу властивостей у стані після сушки, як визначено із літературних джерел, можна використати добавки у невеликій (не більше 2%) кількості. Основне призначення добавок – збільшення міцності і зниження обсипаємість у сухому стані, без погіршення основних показників у сирому стані. Крім цього, добавка має не змінювати консистенції та основних властивостей суміші при багаторазовому повторному використанні.

Для дослідження обрано полімерні фосфати натрію, які виробляються хімічною промисловістю у достатній кількості. Деякі із них (зокрема, триполіфосфат і гексаметафосфат) знайшли застосування під час приготування сумішей, але більше як технологічні добавки у бентонітових суспензіях. Як матеріали, які впливають на властивості суміші в цілому, їх не розглядали. Крім них, у попередніх роботах кафедри синтезовано новий зв'язувальний компонент на основі триполіфосфату натрію, призначений для виготовлення стрижнів, які зміцнюються при нагріванні до 150 °С. Оскільки ця температура співпадає із умовами сушки ливарних форм, даний матеріал вибрано також як технологічну добавку у цій роботі.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Вперше досліджено вплив полімерних фосфатів натрію як технологічних добавок, а саме триполіфосфату натрію в кількості 1% та гексаметафосфату в кількості 0,5% і показано підвищення міцності при розриві у 3 рази та зниження обсипаємість

в 2 рази в сухому стані зі стабільними показниками властивостей суміші в сирому стані.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблено технологію покращення властивостей оборотної піщано-глинястої суміші в сухому стані. Суміші з додаванням 1% триполіфосфату натрію або 0,5% гексаметафосфату забезпечують міцність при розриві на рівні 71...104 кПа, обсипаємість близько 0,5%. При цьому в сирому стані така суміш має міцність при стисканні 106...120 кПа та обсипаємість 0,17...0,33%. Викладено практичні рекомендації щодо процесів сумішоприготування для отримання виливків із залізовуглецевих або алюмінієвих сплавів.

## **1 ПІЩАНО-ГЛИНЯСТІ ФОРМУВАЛЬНІ СУМІШІ ТА СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ**

### **1.1 Склад та область використання формувальних піщано-бентонітових сумішей**

Виготовлення «сирих» піщано-глинястих форм (зв'язувальний компонент – бентоніт) є найпоширенішим процесом виготовлення разових піщаних форм у світі. Цей процес характеризується високими обсягами виробництва, низькими виробничими витратами, а також легкістю в управлінні. Так як зниження цін і надалі залишатиметься важливою тенденцією, наприклад, в автомобільній промисловості, процес виготовлення сирих піщаних форм і далі залишиться основним в області ливарного виробництва.

У країнах СНД для потреб ливарного виробництва у даний час споживається близько 15% всього використовуваного в них бентоніту, тоді як в Європі цей показник становить понад 50% [1].

Частка лиття, одержаного в сирих формах, складає в Японії – 40%, Німеччині – 40%, Англії – 39%, Франції – 39%. Більш свіжі дані маркетингових досліджень фірми "IKO Minerals GmbH" свідчать, що в загальному обсязі випуску лиття промислово розвинених країн 65...70% сталевих і чавунних виливків дрібної і середньої масових груп проводиться в піщано-глинястих формах (ПГФ), і ця тенденція буде зберігатися в майбутньому. Витрата бентоніту на виготовлення 1 т виливків з чавуну на даний час складає 60...90 кг, а із сталі – 90...120 кг.

Глина являє собою гірську породу полімінерального землистого виду, яка утворює із водою пластичну масу, здатну зберігати надану їй форму. У складі глин розрізняють глинясту та неглинясту частини, органічні домішки, обмінні іони та солі. Глиняста частина представлена гідросилікатами алюмінію, які називаються глинястими мінералами [2].

Головні мінерали глин: каолінит  $(Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$  – скорочено  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), монтморилоніт (від Ca, Na)  $(Mg, Fe_2)(OH)_2 \cdot nH_2O$  до (Na, Ca)  $(Al, Mg)_2 \cdot [AlSi_3O_{10}] \cdot nH_2O$  – скорочено  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \cdot nH_2O$ , гідрослюда  $(K_X(H_2O)_N Al_2[Si_{4-X}Al_XO_{10}](OH)_2)$  – де  $X \leq 0,5$ ,  $N \leq 1,5$ .

Глинясті мінерали є представниками групи шаруватих силікатів. У основі будови більшості з них лежать два структурних елементи [3]. Перший – глиноземний елемент – складається із двох шарів щільно упакованих атомів кисню або гідроксильних груп, між якими на однаковій відстані в октаедричній координації розташовуються атоми алюмінію. Глиноземні (алюмокисневі) шари мають склад  $Al(OH)_6$ . Другий елемент складається із кремнекисневих тетраедрів, у яких атом кремнію рівновіддалений від чотирьох атомів кисню або гідроксильних груп. Це кремнеземний шар.

Формувальні глини поділяють на три основні класи [1, 5]:

- а) Бентонітові – основним мінералом у них є монтморилоніт (від 30% до 90%).
- б) Каолінові – основним мінералом є каолінит.
- в) Полімінеральні – основним є інший глинястий мінерал, або жоден із глинястих мінералів не переважає за відсотковим складом.

Найбільш об'єктивним параметром якісної оцінки глини у формувальних сумішах є поняття «активна глина», під яким розуміють вміст у суміші виключно глинястих мінералів, які мають зв'язувальну здатність [5].

Глинясті мінерали за кристалічною будовою є подібними один до одного, оскільки усі мають шарувату будову. При цьому існує два основних типи. Мінерали першого типу складаються із сполучення кремнеземних і глиноземних шарів у співвідношенні 1:1 (каолінит, диккіт, накрит, галуазит). Мінерали другого типу складаються із тих самих елементів, але у співвідношенні 2:1 (монтморилоніт, тальк, пірофіліт, слюда).

Склад і властивості піщано-бентонітових сумішей наведено у табл. 1.1 і табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Склад і властивості піщано-бентонітових сумішей для формовки по-сирому чавунних виливків

| Суміш і спосіб формоутворення                                 | Масова група виливків | Склад формувальної суміші, % |                 |   |                            |                        | Властивості суміші |                             |                      |                              |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------|---|----------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|
|   |                       | оборотна суміш               | кварцовий пісок | бентоніт                                | мелене вугілля або заміник | добавки                | вологість, %       | міцність при стисканні, МПа | газопро-никність, од | вміст активного бентоніту, % |
| Єдина для автоматичних ліній безопочної формовки              | до 10 кг              | 93...98                      | 2,5...6,0       | 0,2...1,0                               | 0,1...1,2                  | 0,02...0,06 крохмальні | 3,2...4,0          | 0,17...0,21                 | >100                 | 7...8                        |
| Єдина для автоматичних пресових ліній                         | дрібні                | 91...96                      | 3...7           | 1,2...3,0 бентоніто-вугільної суспензії |                            | 0,02...0,04 крохмальні | 3,1...3,5          | 0,15...0,19                 | >100                 | 6...7                        |
|   | середні               | 88...93                      | 6...10          | 0,5...1,5                               | 0,5...1,0                  | 0,01...0,03 ПАР        | 3,5...4,0          | 0,09...0,14                 | >120                 | 6...7                        |
| Єдина для машинної формовки струшуванням з допресовкою        | дрібні                | 93...94                      | 5...6           | 0,5...1,0                               | 0,5...1,0 пек              | -                      | 3,5...4,5          | 0,05...0,07                 | >100                 | 4,0...5,5                    |
|   | середні               | 90...95                      | 3...8           | 1,0...2,5                               | 1,0...1,5                  | 0,1...0,5 мазут        | 3,5...4,5          | 0,04...0,06                 | >100                 | 4,5...6,0                    |
| Облицювальна для машинної формовки струшуванням з допресовкою | середні               | 40...75                      | 20...50         | 4,0...8,0                               | 1,0...2,0                  | 1,0...1,5 ЛСТ          | 4,0...5,0          | 0,04...0,06                 | >130                 | 4,0...5,5                    |
| Наповнювальна для машинної формовки                           | середні               | 95...100                     | 0...3           | -                                       | -                          | -                      | 3,5...4,5          | 0,03...0,05                 | >130                 | 2,0...4,0                    |
| Єдина для імпульсної та інших динамічних способів формовки    | дрібні                | 85...90                      | 5...10          | 4,0...7,0                               | 0,5...1,0                  | 0,02...0,06 крохмальні | 3,0...3,5          | 0,18...0,22                 | >95                  | 8,5...9,5                    |

Таблиця 1.2 – Склад і властивості піщано-бентонітових сумішей для формовки по-сирому сталевих виливків

| Суміш і спосіб формоутворення                                 | Масова група виливків | Склад формувальної суміші, % |                 |                       |  | Властивості суміші |                             |                      |                              |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------|--|--------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|
|   |                       | оборотна суміш               | кварцовий пісок | бентоніт              | добавки  | вологість, %       | міцність при стисканні, МПа | газопро-никність, од | вміст активного бентоніту, % |
| Єдина для автоматичних ліній безопочної формовки              | До 10 кг              | 92...95                      | 5...8           | 1,2...2,0             | 0,05...0,10 крохмальні                         | 3,1...3,5          | 0,17...0,21                 | >100                 | 7,0...8,0                    |
| Єдина для автоматичних пресових ліній                         | дрібні                | 82...92                      | 6...12          | 3,0...6,0             | 0,05...0,10 крохмальні;<br>0,01...0,03 ПАР     | 3,5...4,5          | 0,09...0,13                 | >120                 | 5,5...7,0                    |
| Єдина для машинної формовки струшуванням з допресовкою        | дрібні                | 88...92                      | 5...7           | 2,5...4,0 (суспензія) | 0,04...0,08 крохмальні                         | 3,5...5,0          | 0,05...0,07                 | >120                 | 4,5...5,5                    |
| Облицювальна для машинної формовки струшуванням з допресовкою | дрібні                | 40...80                      | 16...53         | 6...10                | 0,01...0,03 ПАР;<br>5...10% пилоподібний кварц | 3,5...4,0          | 0,04...0,06                 | >100                 | 4,5...5,5                    |
|   | середні               | 40...60                      | 33...51         | 10...13               | 1,0...1,5 ЛСТ                                  | 4,5...5,5          | 0,05...0,07                 | >130                 | 5,5...7,0                    |
| Наповнювальна для машинної формовки                           | дрібні, середні       | 95...100                     | 2...5           | -                     | -  | 3,5...4,5          | 0,03...0,05                 | >130                 | 3,0...4,0                    |
| Єдина для імпульсної та інших динамічних способів формовки    | дрібні                | 85...90                      | 5...10          | 6,0...8,0             | 0,01...0,03 ПАР                                | 3,0...3,5          | 0,18...0,22                 | >95                  | 8,5...9,5                    |

Зв'язувальна здатність глин виражається у двох основних параметрах:

– схильність до водопоглинання та набухання. Ця схильність, у свою чергу, залежить від:

- 1) будови кристалічної ґратки;
- 2) міжшарової відстані у кристалічній ґратці.

– схильність до іонного обміну. Вона залежить від:

- 1) наявності у кристалічній ґратці іонів активних металів;
- 2) незрівноваженості заряду кристалічної ґратки.

Форми, виготовлені з піщано-бентонітових сумішей, використовують для формовки по-сирому. Форми з піщано-каолінової суміші сушать при температурах 200...350 °С.

Постачають глини у порошкоподібному або комовому вигляді. Для порошкоподібного стану ГОСТ 3226-93 регламентує гранулометричний склад, згідно з яким залишок глини на ситці при просіванні не повинен перевищувати 3% на ситі з розміром вічка 0,4 мм та 10% на ситі з розміром вічка 0,16 мм, тобто більше 87% за масою глина повинна мати часточки, розмір яких менше 0,16 мм.

ПГФ в умовах сучасного ливарного виробництва є багатокомпонентною системою багаторазового використання, яка складається з наповнювача, зв'язувальних матеріалів, води і різних технологічних добавок.

За останні два десятиріччя в Європі величезну увагу було приділено технології виробництва виливків у сирих піщано-глинястих формах, що призвело до значного вдосконалення формувального обладнання, а також методів ущільнення формувальної суміші. В результаті стало можливим і в піщано-глинястих формах виробляти виливки геометрично точні, із складною конфігурацією. Удосконалення методів виготовлення моделей відкрило нові можливості їх проектування і виробництва. Все це забезпечило можливість виробництва у піщано-бентонітових формах виливків багатофункціонального призначення, в конструкціях яких наявні дуже тонкі

стілки. В результаті всіх цих змін зросли і вимоги, які пред'являються до формувальної суміші.

Головна перевага формування по-сирому полягає в тому, що скорочується виробничий цикл, так як у цьому випадку не потрібна сушка. Відразу після вибивання формувальна суміш піддається освіженню і надходить знову в систему сумішоприготування. Таким чином, технологія лиття в сирі піщано-глинясті форми ідеально підходить для масового виробництва, тоді як суха форма більше відповідає умовам одиничного і дрібносерійного виробництва.

У технології піщано-глинястої форми особливе значення мають три взаємопов'язані показники формувальних сумішей – міцність у вологому стані, газопроникність і вологість. Не можна збільшити міцність форми за рахунок збільшення вмісту глинястих речовин, так як при цьому різко знизиться газопроникність, що призведе до утворення газових раковин. Тому слід прагнути до використання високоякісних бентонітових глин, які забезпечують необхідну міцність при мінімальній кількості глини.

Для підвищення точності відбитку форми та відповідно якості і розмірної точності виливків розроблено ряд спеціальних процесів ущільнення піщано-глинястих сумішей. Наприклад, механізм ущільнення суміші у ВСП-процесі (від російського «высокоскоростное прессование») принципово відрізняється від звичайного (статичного) пресування наявністю динамічної складової при ударі пресової колодки об суміш, швидкість якої в момент удару більша (0,2...0,3 м/с), ніж швидкість руху колодки при статичному пресуванні. В результаті дії динамічного навантаження верхній шар суміші передає високу енергію руху (швидкість) шару, що лежить нижче, який, в свою чергу, передає енергію (хоча і частково втрачену) наступному шару, і так до модельної плити. При цьому, в результаті удару на контактній поверхні напівформи утворюється шар (5...8 мм) підвищеної щільності  $\delta = 1700...1750 \text{ кг/см}^3$  і твердості  $T > 90 \text{ од.}$  [4].



У сучасних технологічних процесах, наприклад Сейатцу-процес, як зв'язувальний матеріал ливарних форм застосовують тільки високоякісні бентонітові глини. Сутність виготовлення форм за Сейатцу-процесом полягає в ущільненні форми повітряним потоком (повітряним імпульсом) з наступним пресуванням.

## **1.2 Властивості сумішей та їх вплив на якість виливків**

Основні вимоги, які пред'являються до отримуваних виливків: висока точність поверхні, розмірна точність; конкурентоспроможний товарний вигляд.

Формування по-сирому з успіхом може застосовуватися для широкого асортименту виливків, але для цього суміш має готуватися з якісних і добре підготовлених матеріалів (тонко розмелені глини, кам'яне вугілля та ін.) Крім цього, має бути здійснено ретельний лабораторний контроль якості сумішей. Має дотримуватися сувора технологічна дисципліна в частині наступних параметрів при підготовці суміші:

- коливання вологості суміші мають бути мінімальними ( $\pm 0,1 \dots 0,2\%$ );
- оборотна суміш має бути попередньо охолоджена, оскільки тільки за рахунок цього можна підняти міцність на 20...25% при інших рівних умовах;
- суміш має бути ретельно перемішана.

Вода – одна з найважливіших складових піщано-глинястих формувальних сумішей, яка значною мірою визначає їх основні властивості – міцність, здатність до ущільнення, газотвірність, вибиваємість, схильність до утворення багатьох дефектів виливків [2]. Фактично волога в формі є вкрай небажаним компонентом з точки зору якості одержуваних виливків, але без неї неможливо забезпечити необхідну зв'язувальну здатність бентоніту. Тому об'єктивно існує прагнення до роботи на сумішах з мінімальним вмістом води.

Бентоніт є найважливішим компонентом суміші і його властивості багато в чому зумовлюють якість форми. Найбільш важливими показниками якості бентоніту є міцність суміші при стисканні, міцність при розриванні в зоні конденсації вологи, термостійкість, швидкість засвоєння води, а також залишкова міцність у висушеному стані, чим зумовлюється вибиваємість форм. Непрямими показниками якості бентоніту є такі показники як колоїдальність і величина водопоглинання.

Сучасна формувальна суміш є багатокомпонентною системою, яка вимагає:

- попередньої підготовки оборотної суміші (охолодження, зволоження, просіювання);
- суворого дозування всіх компонентів;
- дуже ефективного перемішування кількох складових з різними фізико-механічними властивостями за короткий проміжок часу.

Основні причини нестабільності властивостей формувальної суміші:

- значні коливання складу та властивостей вихідних формувальних матеріалів;
- відсутність методики гнучкого управління процесом приготування формувальної суміші;
- невисока надійність сумішоприготувальної системи [4].

Обстеження зарубіжних ливарних цехів показало, що 45...55% втрат від браку виливків обумовлено коливаннями складу і, відповідно, властивостей формувальних сумішей. Відмінності в їх властивостях пов'язані з наступними причинами:

- на 10...20% – з неточністю дозування і незадовільною роботою сумішоприготувального обладнання;
- на 20...25% – з коливаннями властивостей вихідних матеріалів;
- на 40...60% – з нестабільним складом оборотної формувальної суміші внаслідок різних термічних навантажень при виготовленні виливків.

Як показують результати численних досліджень і практика роботи ливарних цехів, подібні коливання складу та властивостей формувальної суміші – основна причина «раптових» спалахів дефектів і браку виливків – ужимин, «вибухового» пригару, ситоподібної пористості, обвалу тощо. Внаслідок недостатньої ефективності і частоти контролю властивостей сумішей причини цих спалахів браку в більшості випадків залишаються невстановленими. Точна діагностика причин утворення багатьох дефектів ускладнюється тим, що один і той же дефект може бути викликаний різними причинами і, навпаки, різні дефекти можуть мати загальні причини утворення.

Основними показниками якості піщано-бентонітової суміші, яка застосовується для формування по-сирому є:

- вологість, %;
- міцність при стисканні у вологому стані, МПа;
- міцність в зоні конденсації вологи, МПа;
- газопроникність, од.;
- текучість, %;
- формувальність, %;
- обсипаємість, %;
- частка глинястої складової (загальної, активної і неактивної), %.

Для забезпечення стабільної якості формувальної суміші вищенаведені показники властивостей мають відповідати нормативним значенням, які регламентуються для технологічного процесу на лініях автоматичної формовки (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Нормативні значення показників фізико-механічних і технологічних властивостей суміші для ліній автоматичного формування

| Найменування показника властивості суміші    | Умовна норма для лінії автоматичної формовки |
|--|--|
| Вологість, %                                 | 3,0...3,2                                    |
| Міцність при стисканні у вологому стані, МПа | не менше 0,140                               |
| Міцність у зоні конденсації вологи, МПа      | не менше 0,0025                              |
| Газопроникність, од.                         | не менше 90                                  |
| Текучість, %                                 | не менше 70                                  |
| Формувальність, %                            | не менше 70                                  |
| Обсипаємість, %                              | не більше 0,8                                |
| Частка глинястої складової, %                |  |
| – загальної                                  | в середньому 10,5...11,5                     |
| – активної                                   | в середньому 8,5...9,0                       |

При імпульсних процесах ущільнення ливарних форм використовують, як правило, піщано-бентонітові суміші з сирогою міцністю при стисканні  $\sigma_{ст} = 0,16...0,22$  МПа. Разом з тим, на практиці використовують суміші і з більш низькою міцністю, наприклад 0,10...0,12 МПа, зазвичай в неавтоматизованому виробництві, де динамічні навантаження на форму при русі і кантуванні півформ менш значні. Спеціальні вимоги до сумішей для імпульсного ущільнення: високий початковий ступінь розпушення суміші ( $\delta_0 = 750...850$  кг/м<sup>3</sup>); ущільнювальність в межах 40...45% [5]; вологість в межах 3,0...3,2%. Суміші, які мають меншу вологість, наприклад  $W \sim 2,8\%$ , ущільнюються краще, але в цьому випадку погіршуються інші технологічні властивості [4].

При формуванні по-сирому мають значення три взаємозв'язані показники якості піщано-бентонітових формувальних сумішей: міцність при стисканні у вологому стані, газопроникність і вологість. Ливарники прагнуть отримувати задану міцність суміші при мінімальній кількості бентонітової

глини, що забезпечує досить високу газопроникність, так як при заливанні сирої форми виділяється значна кількість водяної пари, яка має вилучатися через форму. Вирішення цього завдання можливе при сталості властивостей вихідних компонентів і параметрів процесу їх змішування. Завдання ускладнюється при використанні єдиних синтетичних сумішей, які містять великий відсоток оборотної суміші.

Завжди регламентуються і контролюються такі властивості як вологість, газопроникність, міцність по-сирому і міцність по-сухому (для стрижнів і форм, висушуваних перед заливанням).

Решта властивостей: схильність до утворення пригару, газотвірність, формувальність, гігроскопічність, міцність при високій температурі, податливість, прилипаємість, вибиваємість, схильність до утворення ужимин і засмічень – зазвичай відпрацьовуються при підборі складу формувальної суміші і потім періодично контролюються.

Для кожного складу суміші існує оптимальна величина вологості. Її прийнято вибирати за максимумом міцності у вологому стані. Діапазон зміни вологості виробничих сумішей знаходиться у межах 2...8%.

Відхилення вологості в більший або менший бік позначається на роботі технологічного обладнання дозувальних пристроїв і формувальних машин, що призводить до зміни щільності форми. Підвищена вологість є причиною засмічень і раковин, ужимин, газової пористості, поверхневих і об'ємних газових раковин, викривлення розмірів виливка й інших дефектів.

На практиці суміш з оптимальною вологістю, що відповідає максимальній міцності, непридатна для отримання якісних форм. Робоча вологість в середньому в 1,3...1,4 рази має бути вище оптимальної, тобто має становити 3,0...3,8% [1]. Тут має значення факт, що з усієї маси води, яка вводиться в суміш, бентонітом адсорбується лише частина. Інша частина води змочує суміш, забезпечуючи її текучість і пластичність, але одночасно знижуючи її міцність.

До добавок, які стабілізують вологість сумішей, відносяться крохмаловмісні продукти. Вони покращують відбиток моделі і підвищують міцність суміші у вологому і сухому станах, а також в зоні конденсації вологи, знижують обсипаємість форм, оберігають кромки форми від передчасного обсихання. Ці добавки поліпшують також вибиваємість виливків із форм [1].

Пластичні властивості суміші проявляються в певних межах вологості, за якими вона стає непридатною для виготовлення форм. Робочі інтервали пластичних властивостей залежать як від складу суміші, так і від методу ущільнення. Пластичні властивості оцінюють за ущільнювальністю, формувальністю і текучістю.

Ущільнювальність характеризує здатність суміші ущільнюватися (скорочувати свій об'єм) під дією зовнішньої сили або власної ваги. Ущільнювальність залежить від міцності і в'язкості оболонки зв'язувального компонента в місцях контакту піщинок. Зі зменшенням міцності і в'язкості робота ущільнення суміші зменшується. Робота ущільнення масляних стрижневих сумішей в 8...10 разів менше роботи ущільнення сумішей на глині при однаковій міцності їх при стисканні. Від ущільнювальності формувальної суміші залежить продуктивність праці формувальників.

У теорії течії реальних тіл (реології) під текучістю розуміють здатність матеріалу текти – незворотно деформуватися під дією прикладених сил. Високу текучість мають маловологі суміші на основі бентоніту з добавками бітуму і зв'язувальних компонентів: КО, КВС, ЛСТ та інших.

### **1.3 Добавки для регулювання властивостей**

Підвищення якості виливків у сирих формах може бути досягнуто шляхом введення в формувальну суміш спеціальних добавок, які регулюють ті чи інші властивості. Добавки в сирих піщано-бентонітових сумішах можуть бути класифіковані в такий спосіб:

- протипригарні;
- противоужиминні;
- для покращення технологічних властивостей суміші: формувальності, ущільнювальності, текучості;
- стабілізатори вологості.

Для поліпшення технологічних властивостей єдиних піщано-бентонітових сумішей (ущільнювальність, текучість і формувальність) до їх складу вводять також добавки ПАР. Найбільшого поширення набули такі ПАР: ДС-РАС, контакт Петрова, катапін, а також зв'язувальні компоненти – КО, УСК і ЕКР. Знижувач в'язкості – нітролігнін [6], окзіл [7], ПФЛХ (поліфенольний лісохімічний знижувач в'язкості), УЩР (вуглелужний реагент), ігетан, які додають у суміш в масових частках 0,1...0,5% [8], а також модифікатор РГС, який має розріджувальний і модифікувальний ефекти [9].

Оптимальний час перемішування, необхідний для отримання однорідної суміші, становить зазвичай 90...120 с. Введення ПАР, покращуючи умови перемішування, дозволяє знизити цей час в 1,4 рази.

Для зниження обсипаємості, підвищення текучості і досягнення рівномірної щільності суміші в готовій формі у піщано-бентонітову суміш додають мінеральне масло в кількості 0,1...1,0% [10].

У зарубіжній практиці набули поширення комплексні добавки – премікси, або компаунди, які стабілізують властивості піщано-бентонітових сумішей, знижують витрату формувальних матеріалів, поліпшують умови автоматичного дозування компонентів суміші в бігуни, знижують дефекти форм і виливків.

У 2005 р в виробничих умовах ПАТ «Завод обважнювачів», спільно з кафедрою ЛВЧКМ НТУУ «КПІ», було виготовлено дослідну партію бентоніто-вуглецевого комплексного зв'язувального компонента для чавунного литва під торговою маркою БАК (бентоніт активований комплексний). Матеріал містить антипригарні і противоужиминні коригувальні добавки, характеризується підвищеною текучістю під тиском

пресування і зниженим водопоглинанням. Цей матеріал призначено для виробництва складнопрофільних виливків з чавуну різних марок масою від кілограмів до сотень кілограмів на автоматичних формувальних лініях.

Зросли і вимоги до формувальної суміші. Більш актуальною стала необхідність регулювати її властивості відповідно до особливостей продукції, а також забезпечити максимальну стабільність якісних показників для ефективної роботи автоматичної формувальної лінії.

Слід суворо контролювати і підтримувати на заданому рівні параметри, які визначають якість формувальної суміші: ступінь зволоження бентоніту (співвідношення вода: бентоніт), вміст активного бентоніту, вміст вуглецевих добавок, режими перемішування суміші, загальний вміст вологовмісних частинок дрібної фракції (враховуючи, що на кожен її відсоток необхідно вводити в середньому близько 0,3% додаткової води, що несприятливо позначається на властивостях формувальної суміші і якості виливків).

З урахуванням цих міркувань практичний вміст дрібної фракції в єдиних формувальних сумішах в залежності від специфіки виробництва виливків має становити 9...12%.

Важливий компонент суміші (не баласт!) – неактивна частина загальної глинястої складової, при підвищенні вмісту якої у складі суміші зменшується витрата свіжого піску. Критичний вміст загальної глинястої складової для високомісних сумішей – 15%, вище починається комкування суміші, підвищується ймовірність виникнення ужимин і «вибухового» пригару [4].

Із наведеної інформації зрозуміло, що в сирих піщано-бентонітових сумішах використовується велике різноманіття різних технологічних добавок. Застосування тих чи інших добавок обумовлюється перш за все доступністю їх для ливарних підприємств на поточний момент часу, а зовсім не їх універсальністю або винятковими властивостями. Технологічні добавки, призначені для підвищення одних властивостей нерідко знижують інші властивості сумішей. Крім того, багатокомпонентний склад створює



певні труднощі в сумішоприготуванні, обумовлені, перш за все, складною дозувальною системою.

Екструзійний крохмаловмісний реагент (ЕКР) у кількості 1% або крохмаліт у кількості до 0,1% вводять у піщано-бентонітові суміші для підвищення міцності в зоні конденсації води (в 1,5...2,5 рази), зниження обсипаємості (у 2...3,5 рази), покращення текучості, формувальності, ущільнювальності, стійкості до утворення ужимин [1, 7].

Стійкість до утворення ужимин підвищується також при додаванні 0,75% целлолігніну (речовини, яка утворюється при переробленні дубової сировини). Разом з цим підвищуються міцність та газопроникність суміші [1].

Агрімус (побічний продукт проведення пентозного гідролізу кукурудзяних качанів у присутності 0,5...2,0% каталізатора (суперфосфату)) у кількості 1,5% підвищує текучість, стабілізує вологість, підвищує міцність в зоні конденсації води [7, 11].

Текучість підвищується при додаванні 2% ЛСТ [11] або 0,4% керосину.

Патока також є пластифікатором піщано-глинястих сумішей [12].

В піщано-глинясті суміші вводять  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  у розчині з водою, обробленою магнетним або ультразвуковим полем. Такий розчин діє як електроліт, який підвищує на 30...50% міцність у сирому стані.

Азбест у сумішах для формовки по-сирому знижує обсипаємість та схильність до утворення ужимин [7].

Дерев'яна тирса у кількості 1,5% підвищує податливість сумішей. Такий же ефект досягається при додаванні азбесту [1].

Для зниження в'язкості піщано-бентонітових суспензій, які використовують для приготування піщано-глинястих сумішей, використовують добавку гексаметафосфату натрію в кількості 0,5...1,5%. Суспензії пониженої в'язкості дозволяють зменшити витрату зв'язувального компонента в суміші. З тією ж метою може бути використано триполіфосфат натрію (0,5...1,5% в суспензії) [13].

Для покращення податливості форм і стрижнів та усунення гарячих тріщин у виливках у суміші додають деревну тирсу. Під дією тепла залитого в форму металу вона вигорає і утворює порожнини, які підвищують податливість суміші під час усадки металу у виливках [14].

При формоутворенні методом пресування від формувальної суміші вимагається підвищена текучість для виготовлення щільних і міцних форм. Це досягається внаслідок додавання нафтового бітуму, розчиненого в уайт-спіриті, або ЛСТ. На зернах піску вони утворюють плівки, які полегшують ковзання зерен в процесі пресування суміші [14].

Навуглецювання поверхні виливків можливо запобігти додаванням у суміш  $MnO_2$  [1].

Введення в піщано-глинясті суміші для магнієвого литва  $H_3BO_3$  (борної кислоти) попереджує окиснення розплаву при заливанні в форму [15].

#### **1.4 Висновки і постановка задач**

Після багаторазової експлуатації у формувальних сумішах накопичується значна кількість небажаних домішок (пил, вуглецеві та органічні добавки, неактивна глина, тощо). Вони знижують міцність, газопроникність та технологічні властивості сумішей, призводять до появи у виливках дефектів.

Лабораторна суміш використовується багато років із невеликим відсотком освіження. Її властивості далекі від належного рівня. Для чавунного і сталевого литва форми піддають сушінню при температурі 150...160 °C, після чого спостерігається висока обсипаємість (до 5%), і якість литва не може бути задовільною.

Для покращення комплексу властивостей у стані після сушки, як визначено із літературних джерел, можна використати добавки у невеликій (не більше 2%) кількості. Основне призначення добавок – збільшення міцності і зниження обсипаємість у сухому стані, без погіршення основних

показників у сирому стані. Крім цього, добавка має не змінювати консистенції та основних властивостей суміші при багаторазовому повторному використанні.

В цьому плані актуально перевірити полімерні фосфати натрію, які виробляються хімічною промисловістю у достатній кількості. Деякі із них (зокрема, триполіфосфат і гексаметафосфат) знайшли застосування під час приготування сумішей, але більше як технологічні добавки у бентонітових суспензіях. Як матеріали, які впливають на властивості суміші в цілому, їх не розглядали. Крім них, у попередніх роботах кафедри синтезовано новий зв'язувальний компонент на основі триполіфосфату натрію, призначений для виготовлення стрижнів, які зміцнюються при нагріванні до 150 °C. Оскільки ця температура співпадає із умовами сушки ливарних форм, даний матеріал вибрано також як технологічну добавку у цій роботі.

Метою роботи є вивчення впливу добавок поліфосфатів натрію на властивості оборотної піщано-глинястої суміші у сирому і сухому стані для підвищення якості виливків із залізобетонних і алюмінієвих сплавів.

Задачі:

1. Проаналізувати властивості існуючої оборотної суміші у сирому і сухому стані та визначити показники, які найбільш негативно впливають на якість литва.

2. Дослідити вплив трьох добавок (триполіфосфату натрію; гексаметафосфату натрію; зв'язувального компонента на основі триполіфосфату натрію) у кількості до 2,0% на властивості суміші у сирому та у сухому стані.

3. Визначити найбільш ефективний матеріал із поліфосфатів натрію та його оптимальну кількість для покращення комплексу властивостей.

4. Виготовити ливарні форми для заливання чавуном та алюмінієвим сплавом і встановити вплив добавок на якість поверхонь одержаних виливків.

5. Розробити рекомендації щодо застосування добавок поліфосфатів натрію для приготування оборотної піщано-глинястої суміші.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Матеріали

Наповнювачем формувальної суміші є річковий пісок на основі кварцу, який добувають у місті Києві із дна річки Дніпро. Проведено лабораторний аналіз даного піску з метою встановлення вмісту глинястої складової, а також його гранулометричних показників. Визначення глинястої складової здійснено на приладі моделі 021 у точній відповідності до ГОСТ 29234.1–91. Зерновий аналіз проведено відповідно до ГОСТ 29234.3–91 на приладі моделі 029, оброблення даних здійснено у комп'ютерній програмі «GranN».

Результат гранулометричного аналізу наведено на рис. 2.1.

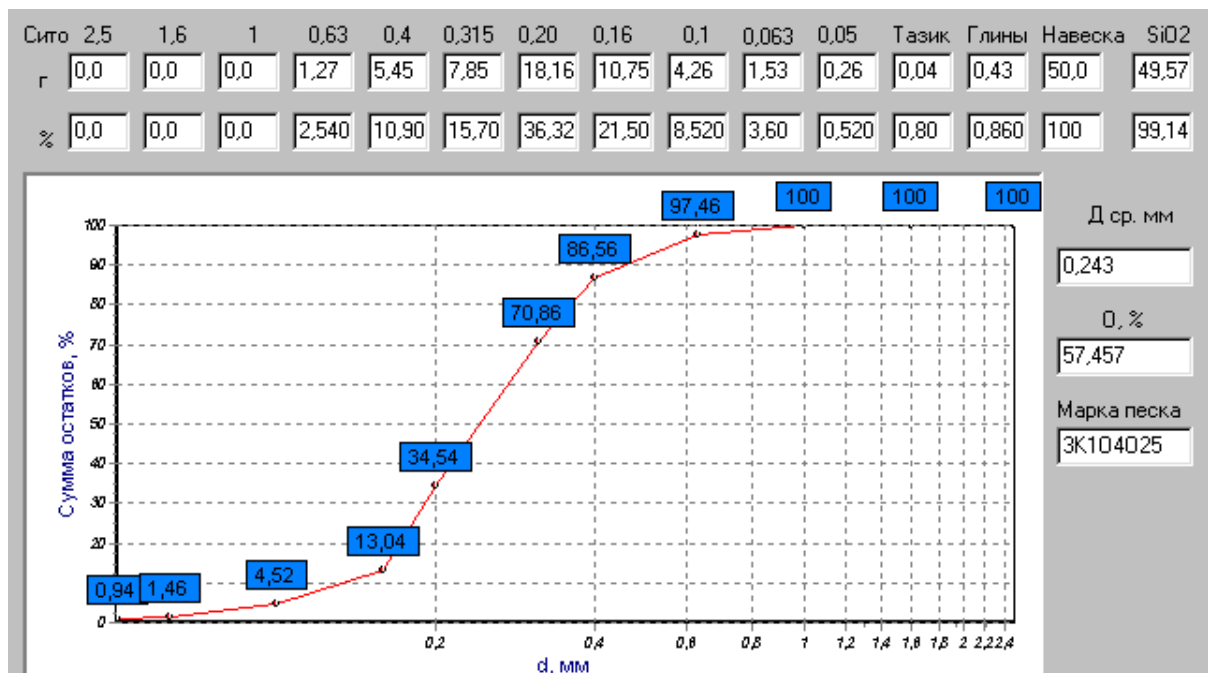


Рисунок 2.1 – Ситовий аналіз піску

Установлено, що пісок відноситься до кварцових, має середній (0,86%) вміст глинястої складової та розмір зерен 0,243 мм.

Об'єктом дослідження в роботі є лабораторна піщано-глиняста суміш, призначена для формовки по-сирому та по-сухому. Зв'язувальним

компонентом у ній являється глина КМЗТ<sub>3</sub>. Цю суміш використано як основу для регулювання властивостей методом додавання полімерних фосфатів натрію.

Застосовано наступні фосфати натрію:

- триполіфосфат натрію ГОСТ 13493 – 86;
- гексаметафосфат натрію ГОСТ 20291 – 80;

– двозаміщений пірофосфат натрію. Для приготування цього матеріалу вихідними використані ортофосфорна кислота та триполіфосфат натрію. Їх змішували у масовому співвідношенні 1:5, після чого отриману композицію поміщали в нагрівальну піч, де витримували при температурі 150 °С протягом 1 год. Після охолодження подрібнювали та просіювали через сито 02.

## 2.2 Методика приготування сумішей

Для приготування сумішей з метою контролю фізико-механічних та технологічних властивостей використали лабораторний змішувач з вертикально розташованими котками моделі 018М.

Тривалість перемішування кожної суміші 5 хв.

Процес перемішування здійснювали наступним чином: у змішувач завантажували лабораторну піщано-глинясту суміш та додавали 0,5...2,0% фосфатів натрію. Під час приготування відбирали проби для контролю вологості прискореним методом.

Зважування компонентів проводили на лабораторних терезах 2-го класу моделі ВЛТК-500г-М з механізмом компенсації тари, похибка зважування яких становить  $\pm 500$  мг. Зважування піску та інших компонентів, кількість яких у суміші становила 100 г і більше, відбувалося на терезах марки РН10Ц13У, похибка зважування яких становить  $\pm 5$  г, мінімальна маса зваженого матеріалу 50 г.

Для виготовлення ливарних форм суміші готували у змішувачі періодичної дії із вертикальними котками моделі 018М. Маса замісу – 50 кг.

Порядок завантаження компонентів: оборотна суха суміш, полімерний фосфат натрію (або його водний розчин), вода. Тривалість перемішування 5 хв.

## **2.3 Визначення властивостей**

### **2.3.1 Вміст глинястої складової**

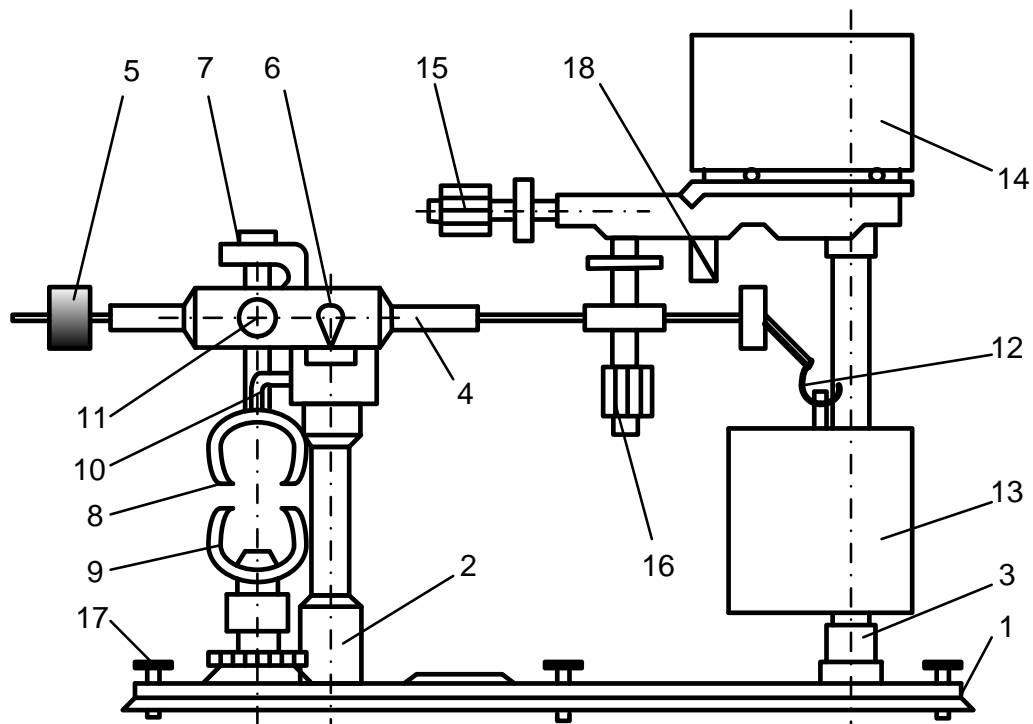
Глинясту складову визначали згідно ГОСТ 29234.1–91 на приладі моделі 021 на двох наважках суміші, висушеної при 105...110 °С, масою по  $(50 \pm 0,01)$  г. Випробування проводили протягом 60 хв. Вміст глинястої складової визначали за втратою маси наважки після випробування і висушування.

### **2.3.2 Міцність у сирому стані**

Міцність у сирому стані визначали наступним чином. Виготовляли стандартні циліндричні зразки на копрі моделі 030М трьома ударами (стандартне ущільнення), а міцність контролювали на приладі моделі 051.

### **2.3.3 Міцність у сухому стані**

Виготовляли стандартні зразки-вісімки на копрі моделі 030М трьома ударами (стандартне ущільнення). Для визначення міцності у сухому стані зразки сушили в печі при температурі 150...160 °С протягом 1 год, після чого контролювали міцність на приладі моделі 081 (рис. 2.2).



1 – станина; 2, 3 – стійки; 4 – важіль; 5 – вантаж; 6 – ніж;  
7 – кронштейн; 8, 9 – захвати; 10 – сережка; 11 – вісь; 12 – крюк;  
13 – відро; 14 – бункер; 15 – затвор; 16 – обмежувач; 17 – регулювальний  
гвинтовий пристрій; 18 – покажчик

Рисунок 2.2 – Схема приладу моделі 081 для визначення міцності зразків на розрив

### 2.3.4 Обсипаємість

Оскільки метал взаємодіє безпосередньо з поверхнею форми, найбільша міцність її має бути на поверхні, щоб не допустити дефектів (піщаних раковин, неметалевих вкраплень) у виливках. Під час отримання виливків у лабораторії кафедри саме такі дефекти переважають, тому контроль поверхневої міцності є найбільш актуальним.

Поверхневу міцність оцінюють непрямим методом – за обсипаємістю при нормальній температурі стандартних циліндричних зразків з формувальної суміші, і виражають у відсотках від маси зразка.

Обсипаємість визначали на приладі моделі 056 після обертання стандартного циліндричного зразка в барабані протягом 60 с.

Цю властивість визначали як для сирих, так і для сухих зразків.

### 2.3.5 Газопроникність

Газопроникність визначали на стандартних циліндричних зразках прискореним методом на приладі моделі 042. Використовували ніпель з діаметром отвору 1,5 мм.

### 2.3.6 Текучість

Текучість формувальних сумішей – це технологічна властивість, яка характеризує їх здатність переміщуватися під дією зовнішніх навантажень.

Для пластичних сумішей, до яких відносяться піщано-глинясті, розроблено стандартну методику визначення текучості. Сам зразок називається пробой Г.М.Орлова (ГОСТ23409.17–78). Для виготовлення зразка у стандартну гільзу висотою 120 мм вставляється металевий вкладки висотою 30 мм. Після цього гільза заповнюється формувальною сумішшю, а потім суміш ущільнюється трьома ударами лабораторного копра для отримання зразка стандартної висоти ( $50 \pm 0,8$ ) мм.

Отриманий зразок зі сходиною виймають з гільзи і вимірюють за допомогою кулькового твердоміра твердість у нижній і верхній частинах зразка. Текучість оцінюють за відношенням твердостей:

$$T = \frac{H_A}{H_B} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де  $T$  – текучість суміші, %;

$H_A$  і  $H_B$  – твердість відповідно у нижній і верхній частинах зразка.



### 2.3.7 Ущільнювальність

Ущільнювальність – це властивість формувальної суміші зменшуватися в об’ємі під дією зовнішніх сил або власної маси.

Ущільнювальність оцінюють згідно ГОСТ23409.13–78. Для цього стандартну гільзу висотою 120 мм до верху заповнюють неущільненою (пухкою) формувальною сумішшю, після чого встановлюють на лабораторний копер. Проводять ущільнення трьома ударами копра, після чого отриманий зразок виймають з гільзи і вимірюють його висоту  $H_3$ . Ущільнювальність розраховується за формулою:

$$U = \frac{H_0 - H_3}{H_0} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де  $U$  – ущільнювальність суміші, %;

$H_0$  – початкова висота шару суміші у гільзі (120 мм);

$H_3$  – висота зразка, отриманого трьома ударами копра, мм.

### 2.3.8 Формувальність

Формувальністю називається властивість суміші відтворювати при ущільненні поверхню модельного оснащення, забезпечувати необхідну щільність і міцність форми.

Пряких методів вимірювання формувальності не розроблено, тому її оцінюють за наступною методикою (ГОСТ 23409.15–78). Вона полягає у здатності суміші просіюватися через сито з отворами певних розмірів.

Наважку суміші масою 200 г розміщують у барабані (розмір комірки 2,5х2,5 мм) установки моделі 056 для випробування зразків на обсипаємість. Вмикають прилад і проводять випробування протягом 10 с. Суміш, яка просипалась крізь сито барабана, зважують. Формувальність визначають за формулою:

$$\Phi = \frac{m_1}{m_0} \cdot 100, \quad (2.3)$$

де  $\Phi$  – формувальність суміші, %;

$m_1$  – кількість суміші, яка пройшла через сітчастий барабан, г;

$m_0$  – початкова кількість суміші (200 г).

### **3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІМЕРНИХ ФОСФАТІВ НАТРІЮ НА ВЛАСТИВОСТІ ПІЩАНО-ГЛИНЯСТОЇ СУМІШІ**

Формувальна суміш, яка взята за основу експерименту, використовується на кафедрі ЛВЧКМ протягом тривалого часу. Останнім часом важко досягти належної якості литва, особливо при використанні сухих форм. Тому основним завданням є підвищення міцності та зниження обсипаємості в сухому стані. Так як суміш універсальна, досліджуємо вплив полімерних фосфатів натрію на властивості в сирому та сухому стані.

Для проведення експериментів обрано такі добавки: триполіфосфат (ТПФН), гексаметафосфат (ГМФН) та ЗК на основі триполіфосфату натрію, який являє собою пірофосфат натрію (ПФН). Досліджено їх вплив при вмісті 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% на фізико-механічні та технологічні властивості. Результати усіх експериментів наведено в табл. 3.1...3.26.

#### **3.1. Вплив добавок на властивості в сирому стані**

Дві добавки (ТПФН і ПФН) являють собою білі дрібнодисперсні порошки. Тому під час сумішоприготування ніяких складнощів не виникало. Ці речовини у розрахованій кількості завантажували у змішувач, після чого вмикали його на 5 хв. При цьому ніяких інших компонентів не додавалося. ГМФН являє собою відносно крупні шматки (глиби) розмірами від 1 до декількох см. Подрібнення матеріалу ускладнене внаслідок його високої твердості. Тому ГМФН використовували у вигляді водного розчину. Для приготування таких розчинів необхідна кількість води, яка приблизно дорівнює кількості цієї добавки. Такий спосіб введення матеріалу в суміш призвів до підвищення вологості у сирому стані на величину від 0,5 до 2,0%, що могло додатково позначитись на властивостях, і це необхідно врахувати. Після висушування зразків вплив початкової вологості є мінімальним.

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |            |    |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------|----|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |              |         | текучість                |                         |                          |               |            |    |
|                                |                   |                    |                 |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |            |    |
| зразок 1                       |                   | 95                 |                 | 90,2         |         | 1                        | 25                      | 82                       | 30            |            |    |
| зразок 2                       |                   | 87                 |                 |              |         | 2                        | 23                      | 83                       | 28            |            |    |
| зразок 3                       |                   | 93                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |    |
| зразок 4                       |                   | 87                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |    |
| зразок 5                       |                   | 89                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |    |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |            |    |
| зразок                         | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |            |    |
| 1                              | 176,18            | 175,15             | 1,03            | 0,58         | 0,29    | 1                        | 120                     | 64                       | 47            |            |    |
| 2                              | 184,28            | 183,84             | 0,44            | 0,23         |         | 2                        |                         | 66                       | 45            |            |    |
| 3                              | 179,32            | 178,99             | 0,33            | 0,18         |         |                          |                         |                          |               |            |    |
| 4                              | 183,45            | 182,93             | 0,52            | 0,28         |         |                          |                         |                          |               |            |    |
| 5                              | 181,42            | 181,12             | 0,3             | 0,17         |         |                          | 3                       |                          |               | 66         | 45 |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |              |         | формувальність           |                         |                          |               |            |    |
| зразок 1                       |                   | 36                 |                 | 46,4         |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       |               | формув., % |    |
| зразок 2                       |                   | 42                 |                 |              |         | 200                      | 104,47                  | 52,24                    |               |            |    |
| зразок 3                       |                   | 49                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |    |
| зразок 4                       |                   | 53                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |    |
| зразок 5                       |                   | 52                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |    |

Таблиця 3.2 – Властивості суміші з добавкою 0,5% ТПФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |            |  |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------|--|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |              |         | текучість                |                         |                          |               |            |  |
|                                |                   |                    |                 |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |            |  |
| зразок 1                       |                   | 105                |                 | 100          |         | 1                        | 27                      | 81                       | 33            |            |  |
| зразок 2                       |                   | 90                 |                 |              |         | 2                        | 25                      | 79                       | 32            |            |  |
| зразок 3                       |                   | 95                 |                 |              |         | 3                        | 25                      | 79                       | 32            |            |  |
| зразок 4                       |                   | 110                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| зразок 5                       |                   | 100                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |            |  |
| зразок                         | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |            |  |
| 1                              | 174,53            | 174,25             | 0,28            | 0,16         | 0,36    | 1                        | 120                     | 68                       | 43            |            |  |
| 2                              | 174,15            | 173,73             | 0,42            | 0,24         |         | 2                        |                         | 65                       | 46            |            |  |
| 3                              | 174,06            | 173,40             | 0,66            | 0,38         |         | 3                        |                         | 61                       | 49            |            |  |
| 4                              | 179,59            | 178,63             | 0,96            | 0,54         |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| 5                              | 173,03            | 172,24             | 0,79            | 0,46         |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |              |         | формувальність           |                         |                          |               |            |  |
| зразок 1                       |                   | 42                 |                 | 40           |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       |               | формув., % |  |
| зразок 2                       |                   | 40                 |                 |              |         | 200                      |                         | 92,6                     |               | 46,3       |  |
| зразок 3                       |                   | 38                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| зразок 4                       |                   | 49                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| зразок 5                       |                   | 31                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |

| Таблиця 3.3 – Властивості суміші з добавкою 1,0% ТПФН |                   |                    |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |
|---|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------|
| Фізико-механічні властивості                          |                   |                    |                 |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |            |
| міцність у сирому стані, кПа                          |                   |                    |                 |              |         | текучість                |                         |                          |               |            |
|   |                   |                    |                 |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |            |
| зразок 1  |                   | 115                |                 | 120          |         | 1                        | 22                      | 80                       | 28            |            |
| зразок 2  |                   | 120                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |
| зразок 3  |                   | 125                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |
| зразок 4  |                   | 115                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |
| зразок 5  |                   | 120                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |
| обсипаємість у сирому стані, %                        |                   |                    |                 |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |            |
| зразок  | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |            |
| 1   | 167,97            | 167,37             | 0,60            | 0,36         | 0,33    | 1                        | 120                     | 65                       | 46            |            |
| 2   | 175,19            | 174,71             | 0,48            | 0,274        |         |                          |                         | 2                        | 67            | 44         |
| 3   | 174,40            | 173,73             | 0,67            | 0,384        |         | 3                        |                         |                          | 65            | 46         |
| 4   | 175,86            | 175,45             | 0,41            | 0,233        |         |                          |                         |                          |               |            |
| 5   | 166,88            | 166,22             | 0,66            | 0,385        |         |                          |                         |                          |               |            |
| газопроникність, од.                                  |                   |                    |                 |              |         | формувальність           |                         |                          |               |            |
| зразок 1  |                   | 38                 |                 | 31           |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       |               | формув., % |
| зразок 2  |                   | 24                 |                 |              |         | 200                      |                         | 97                       |               | 48,5       |
| зразок 3  |                   | 26                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |
| зразок 4  |                   | 33                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |
| зразок 5  |                   | 34                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |

Таблиця 3.4 – Властивості суміші з добавкою 1,5% ТПФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |            |  |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------|--|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |              |         | текучість                |                         |                          |               |            |  |
|                                |                   |                    |                 |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |            |  |
| зразок 1                       |                   | 125                |                 | 112          |         | 1                        | 24                      | 83                       | 29            |            |  |
| зразок 2                       |                   | 115                |                 |              |         | 2                        | 23                      | 81                       | 28            |            |  |
| зразок 3                       |                   | 125                |                 |              |         | 3                        | 22                      | 80                       | 28            |            |  |
| зразок 4                       |                   | 95                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| зразок 5                       |                   | 100                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |            |  |
| зразок                         | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |            |  |
| 1                              | 163,61            | 163,38             | 0,23            | 0,14         | 0,32    | 1                        | 120                     | 64                       | 47            |            |  |
| 2                              | 165,74            | 165,32             | 0,42            | 0,25         |         | 2                        |                         | 66                       | 45            |            |  |
| 3                              | 167,59            | 167,16             | 0,43            | 0,26         |         | 3                        |                         | 62                       | 48            |            |  |
| 4                              | 166,08            | 165,18             | 0,9             | 0,54         |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| 5                              | 167,58            | 166,89             | 0,69            | 0,41         |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |              |         | формувальність           |                         |                          |               |            |  |
| зразок 1                       |                   | 40                 |                 | 40           |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       |               | формув., % |  |
| зразок 2                       |                   | 31                 |                 |              |         | 200                      |                         | 98,4                     |               | 49,2       |  |
| зразок 3                       |                   | 42                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| зразок 4                       |                   | 40                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| зразок 5                       |                   | 47                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |

Таблиця 3.5 – Властивості суміші з добавкою 2,0% ТПФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |               |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |              |         | текучість                |                         |                          |               |               |
|                                |                   |                    |                 |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |               |
| зразок 1                       |                   | 100                |                 | 103          |         | 1                        | 25                      | 81                       | 31            |               |
| зразок 2                       |                   | 110                |                 |              |         | 2                        | 23                      | 80                       | 29            |               |
| зразок 3                       |                   | 95                 |                 |              |         | 3                        | 25                      | 81                       | 31            |               |
| зразок 4                       |                   | 105                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |               |
| зразок 5                       |                   | 105                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |               |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |               |
| зразок                         | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |               |
| 1                              | 167,81            | 167,13             | 0,68            | 0,41         | 0,34    | 1                        | 120                     | 66                       | 45            |               |
| 2                              | 168,99            | 168,66             | 0,33            | 0,20         |         | 2                        |                         | 64                       | 47            |               |
| 3                              | 162,20            | 161,90             | 0,3             | 0,19         |         | 3                        |                         | 65                       | 46            |               |
| 4                              | 172,06            | 171,38             | 0,68            | 0,40         |         |                          |                         |                          |               |               |
| 5                              | 163,28            | 162,40             | 0,88            | 0,54         |         |                          |                         |                          |               |               |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |              |         | формувальність           |                         |                          |               |               |
| зразок 1                       |                   | 44                 |                 | 43           |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       |               | формув.,<br>% |
| зразок 2                       |                   | 49                 |                 |              |         | 200                      |                         | 105,1                    |               | 52,55         |
| зразок 3                       |                   | 40                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |               |
| зразок 4                       |                   | 40                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |               |
| зразок 5                       |                   | 42                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |               |

Таблиця 3.6 – Властивості суміші з добавкою 0,5% ПФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |           |         |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------|---------|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |           |         |
| зразок 1                       | 95                |                    |                 | 118       |         |
| зразок 2                       | 125               |                    |                 |           |         |
| зразок 3                       | 125               |                    |                 |           |         |
| зразок 4                       | 125               |                    |                 |           |         |
| зразок 5                       | 120               |                    |                 |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |           |         |
| зразок                         | почат. маса,<br>г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 156,16            | 155,0              | 1,16            | 0,74      | 0,51    |
| 2                              | 164,12            | 163,20             | 0,92            | 0,56      |         |
| 3                              | 161,14            | 160,43             | 0,71            | 0,44      |         |
| 4                              | 160,03            | 159,43             | 0,6             | 0,37      |         |
| 5                              | 162,46            | 161,72             | 0,74            | 0,46      |         |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |           |         |
| зразок 1                       | 49                |                    |                 | 44,2      |         |
| зразок 2                       | 44                |                    |                 |           |         |
| зразок 3                       | 40                |                    |                 |           |         |
| зразок 4                       | 44                |                    |                 |           |         |
| зразок 5                       | 44                |                    |                 |           |         |

Таблиця 3.7 – Властивості суміші з добавкою 1,0% ПФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |           |         |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------|---------|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |           |         |
| зразок 1                       | 105               |                    |                 | 105       |         |
| зразок 2                       | 90                |                    |                 |           |         |
| зразок 3                       | 95                |                    |                 |           |         |
| зразок 4                       | 120               |                    |                 |           |         |
| зразок 5                       | 115               |                    |                 |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |           |         |
| зразок                         | почат. маса,<br>г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 157,96            | 156,73             | 1,23            | 0,78      | 0,75    |
| 2                              | 158,44            | 157,41             | 1,03            | 0,65      |         |
| 3                              | 159,71            | 158,24             | 1,47            | 0,92      |         |
| 4                              | 160,06            | 158,85             | 1,21            | 0,76      |         |
| 5                              | 160,36            | 159,36             | 1,0             | 0,62      |         |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |           |         |
| зразок 1                       | 40                |                    |                 | 43,6      |         |
| зразок 2                       | 49                |                    |                 |           |         |
| зразок 3                       | 40                |                    |                 |           |         |
| зразок 4                       | 49                |                    |                 |           |         |
| зразок 5                       | 40                |                    |                 |           |         |

Таблиця 3.8 – Властивості суміші з добавкою 1,5% ПФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |           |         |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------|---------|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |           |         |
| зразок 1                       | 110               |                    |                 | 107       |         |
| зразок 2                       | 90                |                    |                 |           |         |
| зразок 3                       | 110               |                    |                 |           |         |
| зразок 4                       | 105               |                    |                 |           |         |
| зразок 5                       | 120               |                    |                 |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |           |         |
| зразок                         | почат. маса,<br>г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 160,88            | 160,26             | 0,62            | 0,39      | 0,59    |
| 2                              | 158,43            | 157,03             | 1,4             | 0,36      |         |
| 3                              | 156,56            | 155,03             | 1,53            | 0,98      |         |
| 4                              | 162,56            | 161,34             | 1,22            | 0,75      |         |
| 5                              | 157,91            | 157,14             | 0,77            | 0,49      |         |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |           |         |
| зразок 1                       | 38                |                    |                 | 40,6      |         |
| зразок 2                       | 38                |                    |                 |           |         |
| зразок 3                       | 44                |                    |                 |           |         |
| зразок 4                       | 34                |                    |                 |           |         |
| зразок 5                       | 49                |                    |                 |           |         |

Таблиця 3.9 – Властивості суміші з добавкою 2,0% ПФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |           |         |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------|---------|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |           |         |
| зразок 1                       | 105               |                    |                 | 102       |         |
| зразок 2                       | 95                |                    |                 |           |         |
| зразок 3                       | 95                |                    |                 |           |         |
| зразок 4                       | 100               |                    |                 |           |         |
| зразок 5                       | 115               |                    |                 |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |           |         |
| зразок                         | почат. маса,<br>г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 155,31            | 154,24             |                 | 0,69      | 0,57    |
| 2                              | 156,25            | 155,64             |                 | 0,39      |         |
| 3                              | 161,07            | 159,97             |                 | 0,68      |         |
| 4                              | 161,01            | 159,94             |                 | 0,66      |         |
| 5                              | 155,01            | 154,38             |                 | 0,41      |         |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |           |         |
| зразок 1                       | 38                |                    |                 | 42,8      |         |
| зразок 2                       | 49                |                    |                 |           |         |
| зразок 3                       | 38                |                    |                 |           |         |
| зразок 4                       | 49                |                    |                 |           |         |
| зразок 5                       | 40                |                    |                 |           |         |

Таблиця 3.10 – Властивості суміші з добавкою 0,5% ГМФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                 |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                 |              |         | текучість                |                         |                          |               |
|                                |                   |                    |                 |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |
| зразок 1                       |                   | 126                |                 | 106,2        |         | 1                        | 37                      | 84                       | 44            |
| зразок 2                       |                   | 110                |                 |              |         | 2                        | 36                      | 83                       | 43            |
| зразок 3                       |                   | 85                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |
| зразок 4                       |                   | 110                |                 |              |         | 3                        | 34                      | 83                       | 41            |
| зразок 5                       |                   | 100                |                 |              |         |                          |                         |                          |               |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                 |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |
| зразок                         | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |
| 1                              | 169,33            | 169,13             | 0,2             | 0,1          | 0,17    | 1                        | 120                     | 62                       | 51,7          |
| 2                              | 167,29            | 167,16             | 0,13            | 0,08         |         | 2                        |                         | 62                       | 51,7          |
| 3                              | 169,47            | 169,30             | 0,17            | 0,1          |         |                          |                         |                          |               |
| 4                              | 170,29            | 170,00             | 0,29            | 0,17         |         | 3                        | 64                      | 53,3                     |               |
| 5                              | 175,98            | 175,28             | 0,70            | 0,4          |         |                          |                         |                          |               |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                 |              |         | формувальність           |                         |                          |               |
| зразок 1                       |                   | 56                 |                 | 58,4         |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       | формув.,<br>% |
| зразок 2                       |                   | 67                 |                 |              |         | 200                      | 130                     | 65                       |               |
| зразок 3                       |                   | 67                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |
| зразок 4                       |                   | 52                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |
| зразок 5                       |                   | 50                 |                 |              |         |                          |                         |                          |               |

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                  |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |            |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                  |              |         | текучість                |                         |                          |               |            |
|                                |                   |                    |                  |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |            |
| зразок 1                       |                   | 55                 |                  | 65,4         |         | 1                        | 31                      | 80                       | 39            |            |
| зразок 2                       |                   | 83                 |                  |              |         | 2                        | 47                      | 84                       | 56            |            |
| зразок 3                       |                   | 67                 |                  |              |         | 3                        | 33                      | 77                       | 43            |            |
| зразок 4                       |                   | 57                 |                  |              |         | 4                        | 39                      | 82                       | 49            |            |
| зразок 5                       |                   | 65                 |                  |              |         | 5                        | 35                      | 80                       | 44            |            |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                  |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |            |
| зразок                         | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси, г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |            |
| 1                              | 176,3             | 176,13             | 0,17             | 0,1          | 0,11    | 1                        | 120                     | 66                       | 45            |            |
| 2                              | 179,02            | 178,85             | 0,17             | 0,1          |         | 2                        |                         | 65                       | 46            |            |
| 3                              | 172,91            | 172,72             | 0,19             | 0,11         |         |                          |                         | 3                        | 68            | 43         |
| 4                              | 180,96            | 180,75             | 0,21             | 0,12         |         |                          |                         |                          |               |            |
| 5                              | 173,06            | 172,86             | 0,2              | 0,11         |         |                          |                         |                          |               |            |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                  |              |         | формувальність           |                         |                          |               |            |
| зразок 1                       |                   | 75                 |                  | 87           |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       |               | формув., % |
| зразок 2                       |                   | 90                 |                  |              |         | 200                      | 127                     | 63,5                     |               |            |
| зразок 3                       |                   | 90                 |                  |              |         |                          |                         |                          |               |            |
| зразок 4                       |                   | 90                 |                  |              |         |                          |                         |                          |               |            |
| зразок 5                       |                   | 90                 |                  |              |         |                          |                         |                          |               |            |

Таблиця 3.12 – Властивості суміші з добавкою 1,5%ГМФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                  |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |            |  |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------|--|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                  |              |         | текучість                |                         |                          |               |            |  |
|                                |                   |                    |                  |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |            |  |
| зразок 1                       |                   | 47                 |                  | 74,6         |         | 1                        | 34                      | 80                       | 42,5          |            |  |
| зразок 2                       |                   | 78                 |                  |              |         | 2                        | 24                      | 78                       | 30,8          |            |  |
| зразок 3                       |                   | 95                 |                  |              |         | 3                        | 15                      | 77                       | 19,5          |            |  |
| зразок 4                       |                   | 78                 |                  |              |         | 4                        | 19                      | 76                       | 25            |            |  |
| зразок 5                       |                   | 75                 |                  |              |         | 5                        | 24                      | 79                       | 30,4          |            |  |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                  |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |            |  |
| зразок                         | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси, г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |            |  |
| 1                              | 182,29            | 182,23             | 0,06             | 0,03         | 0,06    | 1                        | 120                     | 58                       | 51,7          |            |  |
| 2                              | 179,41            | 179,30             | 0,11             | 0,06         |         | 2                        |                         | 62                       | 48,3          |            |  |
| 3                              | 179,19            | 179,12             | 0,07             | 0,04         |         |                          |                         | 3                        | 61            | 48,3       |  |
| 4                              | 183,47            | 183,38             | 0,09             | 0,05         |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| 5                              | 181,90            | 181,67             | 0,23             | 0,12         |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                  |              |         | формувальність           |                         |                          |               |            |  |
| зразок 1                       |                   | 38                 |                  | 43,4         |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       |               | формув., % |  |
| зразок 2                       |                   | 47                 |                  |              |         | 200                      |                         | 92                       |               | 46         |  |
| зразок 3                       |                   | 52                 |                  |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| зразок 4                       |                   | 38                 |                  |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |
| зразок 5                       |                   | 42                 |                  |              |         |                          |                         |                          |               |            |  |



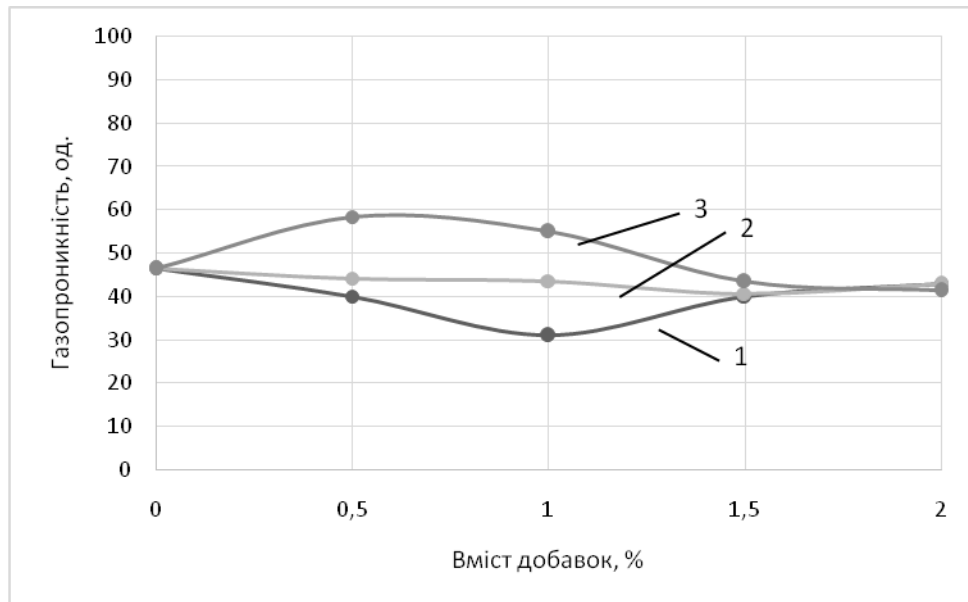
Таблиця 3.13 – Властивості суміші з добавкою 2,0% ГМФН

| Фізико-механічні властивості   |                   |                    |                     |              |         | Технологічні властивості |                         |                          |               |               |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|--------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|---------------|
| міцність у сирому стані, кПа   |                   |                    |                     |              |         | текучість                |                         |                          |               |               |
|                                |                   |                    |                     |              |         | зразок                   | тверд.<br>А, од.        | тверд.<br>В, од.         | текуч.,<br>%  |               |
| зразок 1                       |                   | 58                 |                     | 52,2         |         | 1                        | 24                      | 77                       | 31            |               |
| зразок 2                       |                   | 44                 |                     |              |         | 2                        | 16                      | 76                       | 21            |               |
| зразок 3                       |                   | 50                 |                     |              |         | 3                        | 12                      | 75                       | 16            |               |
| зразок 4                       |                   | 59                 |                     |              |         | 4                        | 19                      | 77                       | 25            |               |
| зразок 5                       |                   | 50                 |                     |              |         | 5                        | 22                      | 79                       | 28            |               |
| обсипаємість у сирому стані, % |                   |                    |                     |              |         | ущільнювальність         |                         |                          |               |               |
| зразок                         | почат.<br>маса, г | кінцева<br>маса, г | зміна<br>маси,<br>г | обсип.,<br>% | середнє | зразок                   | почат.<br>висота,<br>мм | кінцева<br>висота,<br>мм | ущільн.,<br>% |               |
| 1                              | 190,87            | 190,82             | 0,05                | 0,03         | 0,15    | 1                        | 120                     | 58                       | 52            |               |
| 2                              | 185,27            | 184,64             | 0,63                | 0,34         |         | 2                        |                         | 62                       | 48            |               |
| 3                              | 186,48            | 186,18             | 0,3                 | 0,16         |         | 3                        |                         | 61                       | 49            |               |
| 4                              | 190,01            | 189,9              | 0,11                | 0,06         |         |                          |                         |                          |               |               |
| 5                              | 189,81            | 189,6              | 0,35                | 0,18         |         |                          |                         |                          |               |               |
| газопроникність, од.           |                   |                    |                     |              |         | формуємість              |                         |                          |               |               |
| зразок 1                       |                   | 44                 |                     | 41,4         |         | початкова<br>маса, г     |                         | кінцева<br>маса, г       |               | формує.,<br>% |
| зразок 2                       |                   | 29                 |                     |              |         | 200                      |                         | 65                       |               | 32,5          |
| зразок 3                       |                   | 49                 |                     |              |         |                          |                         |                          |               |               |
| зразок 4                       |                   | 49                 |                     |              |         |                          |                         |                          |               |               |
| зразок 5                       |                   | 36                 |                     |              |         |                          |                         |                          |               |               |

Після виконання всіх дослідів було порівняно вплив добавок на кожну властивість.

Початкова суміш має низьке значення газопроникності, тому в першому досліді необхідно було переконатися, що додавання поліфосфатів не спричинить різкого зниження газопроникності, при якому використання суміші буде ускладненим або взагалі неможливим.

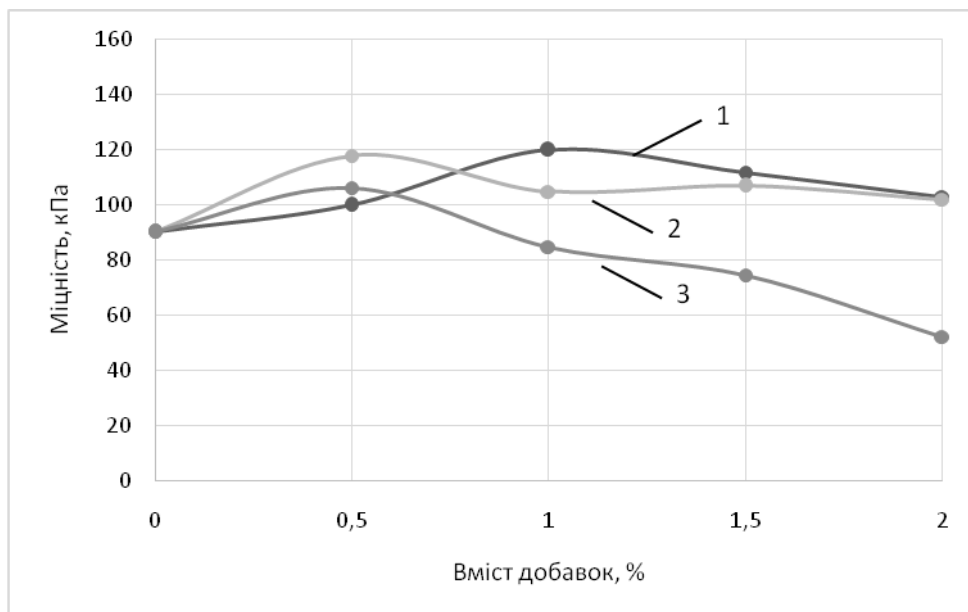
Як видно з отриманих результатів (рис. 3.1) поліфосфати натрію не мають значного впливу на газопроникність.



1 – суміш з добавками ТПФН; 2- суміш з добавками ПФН; 3- суміш з добавками ГМФН

Рисунок 3.1 – Вплив добавок на газопроникність суміші

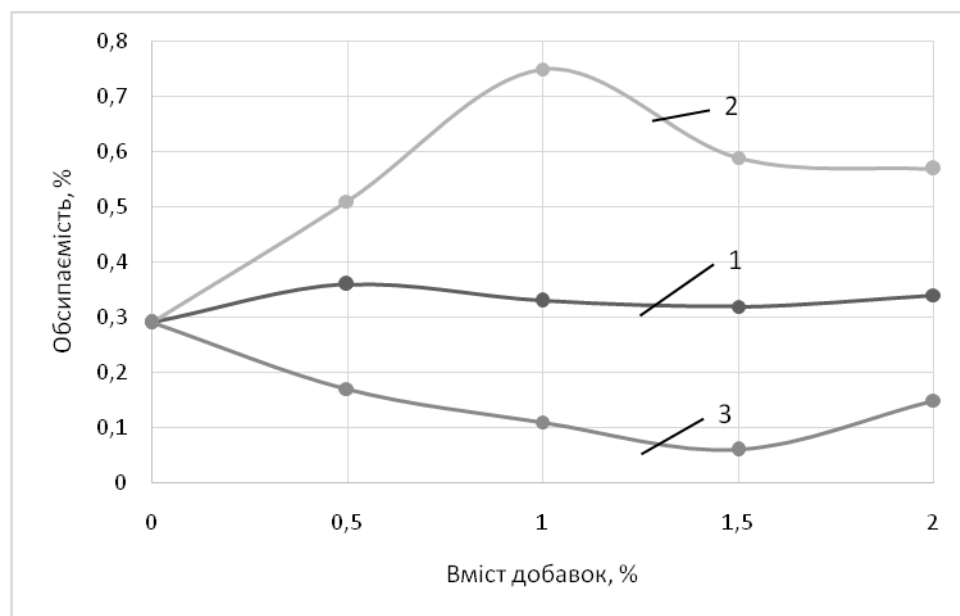
З рис. 3.2 бачимо, що додавання 0,5% кожного із поліфосфатів натрію підвищує міцність, яка і далі росте при додаванні ТПФН до 1%. Очевидно, що додавання ГМФН більше ніж 1% погіршує міцність через спосіб введення цієї добавки (розведення з водою) та підвищення вологості суміші.



1 – суміш з добавками ТПФН; 2- суміш з добавками ПФН; 3- суміш з добавками ГМФН

Рисунок 3.2 – Вплив добавок на міцність суміші

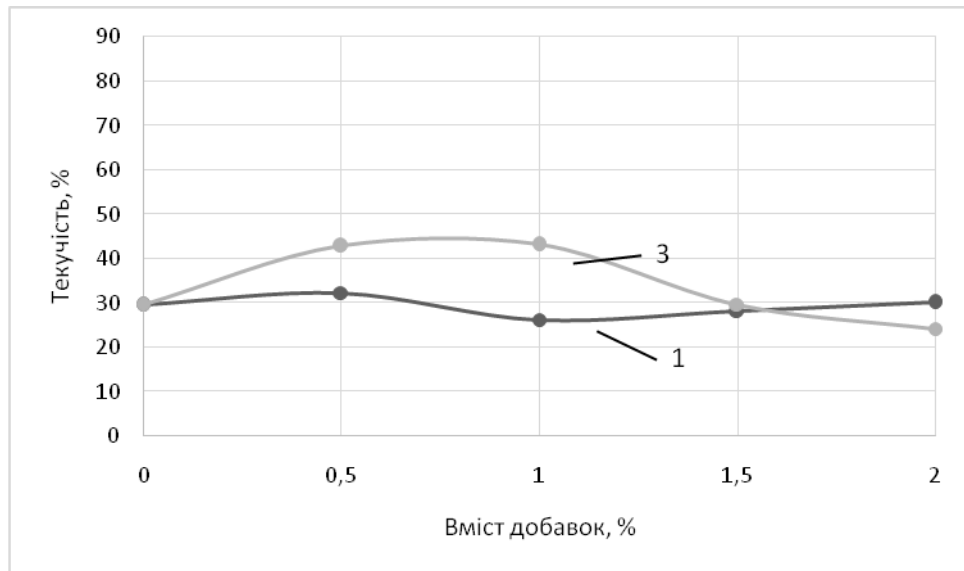
ПФН підвищує значення обсипаємості суміші майже до 1%, що може ускладнювати роботу при формовці та негативно відобразитись на якості литва. Тому було вирішено, що даний матеріал не підходить для використання як добавки до оборотної суміші в сирому стані. З введенням ГМФН додаткова волога сприяє зниженню в'язкості глинястих плівок, що покращує зв'язування зерен піску, але після 1,5% надмірна волога призводить до послаблення цих зв'язків і обсипаємість збільшується. ТПФН не має значного впливу на обсипаємість.



1 – суміш з добавками ТПФН; 2- суміш з добавками ПФН; 3- суміш з добавками ГМФН

Рисунок 3.3 – Вплив добавок на обсипаємість суміші

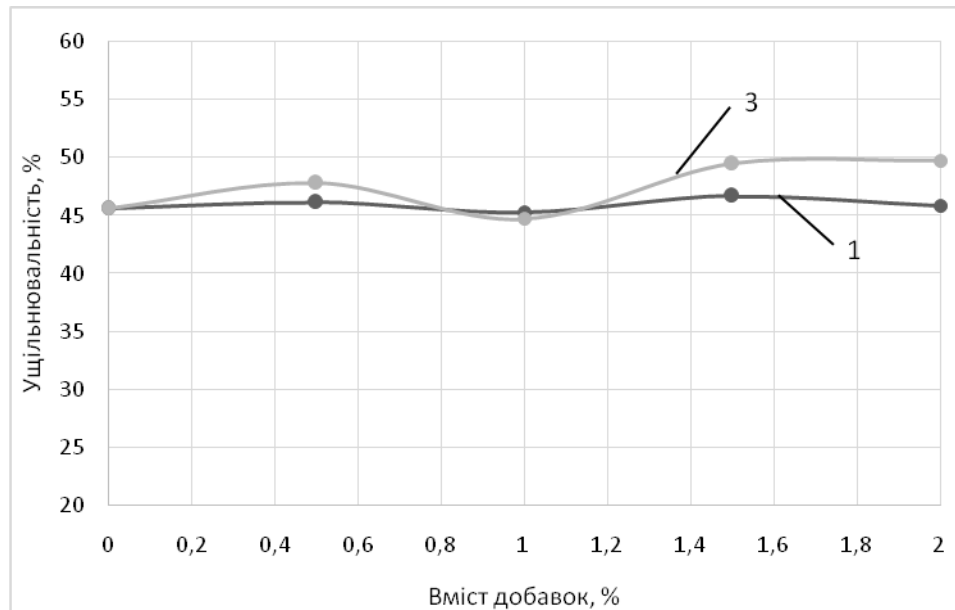
Найбільший вплив на текучість спостерігається у добавки ГМФН (рис. 3.4) у кількості до 1% вона значною мірою послаблює сили внутрішнього тертя між зернами суміші, що сприяє покращенню заповнюваності технологічного оснащення. При більших кількостях добавки відбувається зниження як загальної і поверхневої міцності, так і твердості, що спричиняє зниження текучості. Отже вміст ГМФН понад 1% є небажаним.



1 – суміш з добавками ТПФН; 3- суміш з добавками ГМФН

Рисунок 3.4 – Вплив добавок на текучість суміші

Ущільнювальність суміші не залежить від вмісту досліджуваних добавок (рис. 3.5).

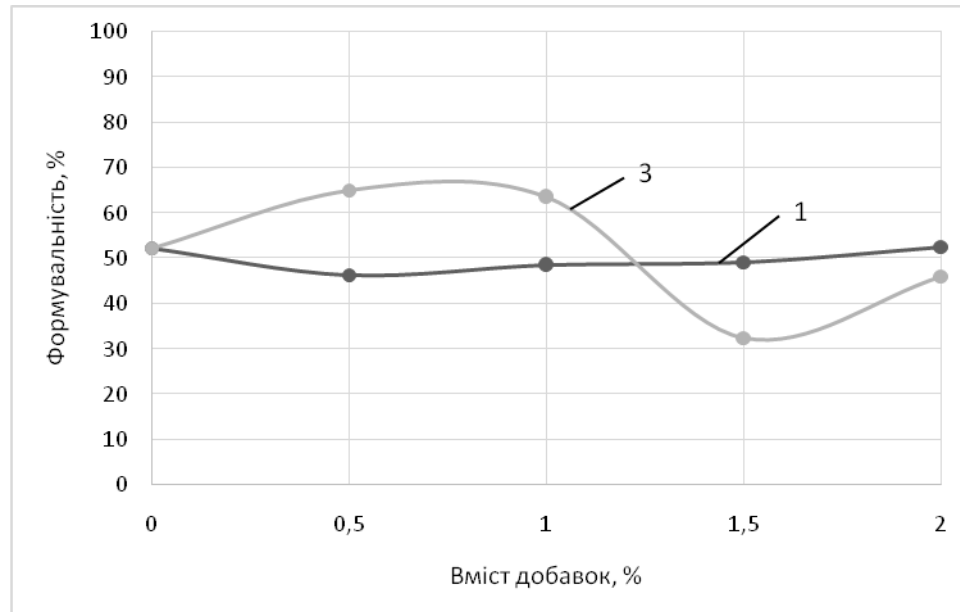


1 – суміш з добавками ТПФН; 3- суміш з добавками ГМФН

Рисунок 3.5 – Вплив добавок на ущільнювальність суміші

Позитивний вплив ГМФН як і на попередні властивості, встановлено також на формувальність. При цьому максимум припадає також на область

0,5...1,0% цієї добавки. Така суміш буде якісно відтворювати рельєфну поверхню моделі, в тому числі при виготовленні художніх виливків.



1 – суміш з добавками ТПФН; 3- суміш з добавками ГМФН

Рисунок 3.5 – Вплив добавок на формувальність суміші

### 3.2 Вплив добавок на властивості в сухому стані

Для дослідження суміші в сухому стані на міцність при розриві та обсипаємість було проведено сушку протягом 1 год. при 150...160 °С.

Таблиця 3.14 – Властивості цехової суміші

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       | середнє   |         |
| 1                              | 170            |                 | 26,7         | 32,8      |         |
| 2                              | 175            |                 | 27,4         |           |         |
| 3                              | 285            |                 | 44,7         |           |         |
| 4                              | 190            |                 | 29,8         |           |         |
| 5                              | 225            |                 | 35,3         |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 169,64         | 167,11          | 2,53         | 1,5       | 1,2     |
| 2                              | 166,18         | 164,09          | 2,09         | 1,26      |         |
| 3                              | 180,46         | 178,97          | 1,49         | 0,83      |         |

Таблиця 3.15 – Властивості суміші з добавкою 0,5% ТПФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       |           | середнє |
| 1                              | 270            |                 | 42           |           | 77      |
| 2                              | 490            |                 | 76,8         |           |         |
| 3                              | 630            |                 | 98,8         |           |         |
| 4                              | 380            |                 | 59,6         |           |         |
| 5                              | 695            |                 | 109          |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 163,03         | 162,31          | 0,72         | 0,44      | 0,4     |
| 2                              | 169,48         | 168,78          | 0,7          | 0,41      |         |
| 3                              | 165,11         | 164,52          | 0,59         | 0,36      |         |

Таблиця 3.16 – Властивості суміші з добавкою 1,0% ТПФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       | середнє   |         |
| 1                              | 585            |                 | 91,8         | 104       |         |
| 2                              | 860            |                 | 134,9        |           |         |
| 3                              | 660            |                 | 103,5        |           |         |
| 4                              | 645            |                 | 101,1        |           |         |
| 5                              | 570            |                 | 89,4         |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 167,4          | 166,46          | 0,94         | 0,56      | 0,62    |
| 2                              | 161,58         | 160,49          | 1,1          | 0,68      |         |
| 3                              | 162.2          | 161.2           | 1.0          | 0.62      |         |

Таблиця 3.17 – Властивості суміші з добавкою 1,5% ТПФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       |           | середнє |
| 1                              | 470            |                 | 73,7         |           | 64      |
| 2                              | 365            |                 | 57,2         |           |         |
| 3                              | 445            |                 | 69,8         |           |         |
| 4                              | 390            |                 | 61,2         |           |         |
| 5                              | 370            |                 | 58           |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 156,7          | 155,94          | 0,76         | 0,49      | 0,4     |
| 2                              | 157,71         | 157,00          | 0,71         | 0,45      |         |
| 3                              | 158.54         | 158.14          | 0.4          | 0.25      |         |

Таблиця 3.18 – Властивості суміші з добавкою 2,0% ТПФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       |           | середнє |
| 1                              | 640            |                 | 100,4        |           | 122     |
| 2                              | 790            |                 | 123,9        |           |         |
| 3                              | 600            |                 | 94,1         |           |         |
| 4                              | 940            |                 | 147,4        |           |         |
| 5                              | 930            |                 | 145,8        |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 159,21         | 158,61          | 0,6          | 0,38      | 0,45    |
| 2                              | 161,77         | 161,18          | 0,59         | 0,37      |         |
| 3                              | 161,83         | 160,83          | 1,0          | 0,62      |         |

Таблиця 3.19 – Властивості суміші з добавкою 0,5% ПФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       |           | середнє |
| 1                              | 165            |                 | 25,9         |           | 28,22   |
| 2                              | 145            |                 | 22,8         |           |         |
| 3                              | 230            |                 | 36,0         |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 148,98         | 140,18          | 8,8          | 5,9       | 6,2     |
| 2                              | 153,21         | 143,97          | 9,24         | 6,0       |         |
| 3                              | 154,09         | 143,78          | 10,31        | 6,7       |         |

Таблиця 3.20 – Властивості суміші з добавкою 1,0% ПФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       | середнє   |         |
| 1                              | 160            |                 | 25,1         | 24,6      |         |
| 2                              | 140            |                 | 22           |           |         |
| 3                              | 170            |                 | 26,7         |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 155,81         | 147,70          | 8,11         | 5,2       | 5,6     |
| 2                              | 153,37         | 144,08          | 9,29         | 6,1       |         |
| 3                              | 156.2          | 147.66          | 8.54         | 5.5       |         |

Таблиця 3.21 – Властивості суміші з добавкою 1,5% ПФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       | середнє   |         |
| 1                              | 410            |                 | 64,288       | 49,39     |         |
| 2                              | 220            |                 | 34,496       |           |         |
| 3                              | -              |                 | -            |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 149,34         | 140,71          | 8,63         | 5,78      | 4,7     |
| 2                              | 151,39         | 145,54          | 5,85         | 3,86      |         |
| 3                              | 148,24         | 141,87          | 6,37         | 4,3       |         |

Таблиця 3.22 – Властивості суміші з добавкою 2,0% ПФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |               |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|---------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |               |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа        |           | середнє |
| 1                              | 365            |                 | 57,23         |           | 57,23   |
| 2                              | -              |                 | -             |           |         |
| 3                              | -              |                 | -             |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |               |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси, г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 152,8          | 136,22          | 16,58         | 10,85     | 9,73    |
| 2                              | 152,57         | 138,15          | 14,42         | 9,45      |         |
| 3                              | 152,14         | 138,6           | 13,54         | 8,9       |         |

Таблиця 3.23 – Властивості суміші з добавкою 0,5% ГМФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       | середнє   |         |
| 1                              | 327            |                 | 51,3         | 70,9      |         |
| 2                              | 470            |                 | 73,7         |           |         |
| 3                              | 400            |                 | 62,7         |           |         |
| 4                              | 555            |                 | 87           |           |         |
| 5                              | 510            |                 | 80           |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 168,87         | 168,17          | 0,7          | 0,42      | 0,51    |
| 2                              | 167,65         | 166,70          | 0,95         | 0,6       |         |
| 3                              | 163.32         | 162.48          | 0.84         | 0.5       |         |



Таблиця 3.24 – Властивості суміші з добавкою 1,0% ГМФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       | середнє   |         |
| 1                              | 495            |                 | 77,6         | 84,6      |         |
| 2                              | 485            |                 | 76,0         |           |         |
| 3                              | 695            |                 | 109,0        |           |         |
| 4                              | 484            |                 | 75,9         |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 172,36         | 172,08          | 0,28         | 0,16      | 0,16    |
| 2                              | 171,48         | 171,21          | 0,27         | 0,16      |         |
| 3                              | 169,32         | 169,03          | 0,29         | 0,17      |         |

Таблиця 3.25 – Властивості суміші з добавкою 1,5% ГМФН

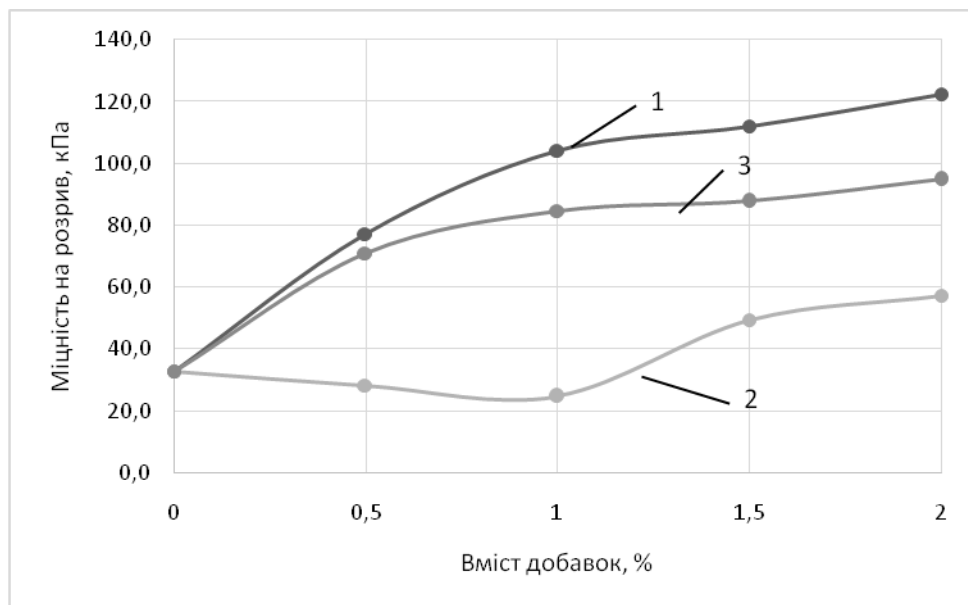
| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       |           | середнє |
| 1                              | 520            |                 | 81,5         |           | 87,8    |
| 2                              | 540            |                 | 84,7         |           |         |
| 3                              | 622            |                 | 97,5         |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 168,44         | 168,17          | 0,27         | 0,16      | 0,14    |
| 2                              | 176,40         | 176,20          | 0,20         | 0,11      |         |
| 3                              | 178,0          | 177,71          | 0,29         | 0,16      |         |

Таблиця 3.26 – Властивості суміші з добавкою 2,0% ГМФН

| Фізико-механічні властивості   |                |                 |              |           |         |
|--------------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------|---------|
| міцність на розрив, кПа        |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | маса, г        |                 | σ, кПа       | середнє   |         |
| 1                              | 645            |                 | 101,14       | 94,9      |         |
| 2                              | 610            |                 | 95,65        |           |         |
| 3                              | 560            |                 | 87,81        |           |         |
| обсипаємість у сирому стані, % |                |                 |              |           |         |
| зразок                         | почат. маса, г | кінцева маса, г | зміна маси,г | обсип., % | середнє |
| 1                              | 180,36         | 180,14          | 0,22         | 0,12      | 0,11    |
| 2                              | 179,13         | 178,94          | 0,19         | 0,11      |         |
| 3                              | 177,81         | 177,64          | 0,17         | 0,1       |         |

У сухому стані, як видно з рис. 3.6, ТПФН та ГМФН мають гарний вплив на суміш, при якому міцність зростає в 2...3 рази. Ці добавки

покращують адгезію глини до наповнювача, а після видалення води вони сприяють зміцненню плівок зв'язувального компонента. В той час як ПФН має позитивний ефект тільки після додавання понад 1,0...1,5%. Це пояснюється тим, що ця речовина є самостійним зв'язувальним компонентом, вона не зміцнює глинясті плівки, а прояв її зв'язувального потенціалу стає можливим лише при більш високому вмісті. Тому як технологічна добавка вона не є ефективною.

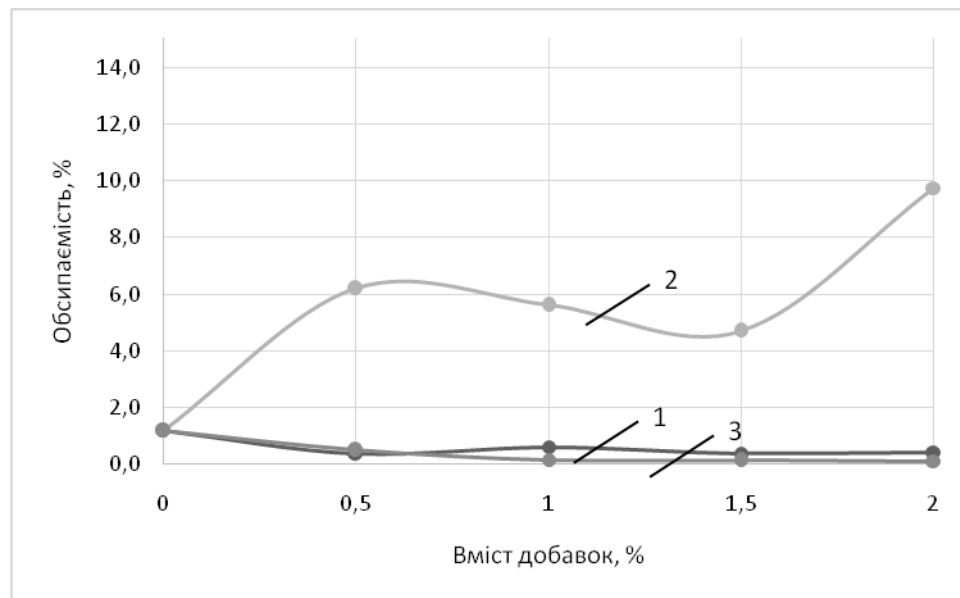


1 – суміш з добавками ТПФН; 2 – суміш з добавками ПФН; 3 – суміш з добавками ГМФН

Рисунок 3.6 – Вплив добавок на міцність при розриві в сухому стані

Обсипаємість суміші з додаванням ПФН стрімко зростає, що унеможлиблює роботу з такою сумішшю. Але нам вдалося досягти зменшення обсипаємість майже в 2 рази при додаванні ТПФН та ГМФН вже при вмісті 0,5%.

За результатами рис.3.6 та рис.3.7 можна зробити висновки та рекомендувати добавки ТПФН та ГМФН при відсотковому вмісті близько 0,5% для загального використання в ливарному виробництві у складі піщано-глинястих сумішей, які піддають сушінню.



1 – суміш з добавками ТПФН; 2- суміш з добавками ПФН; 3- суміш з добавками ГМФН

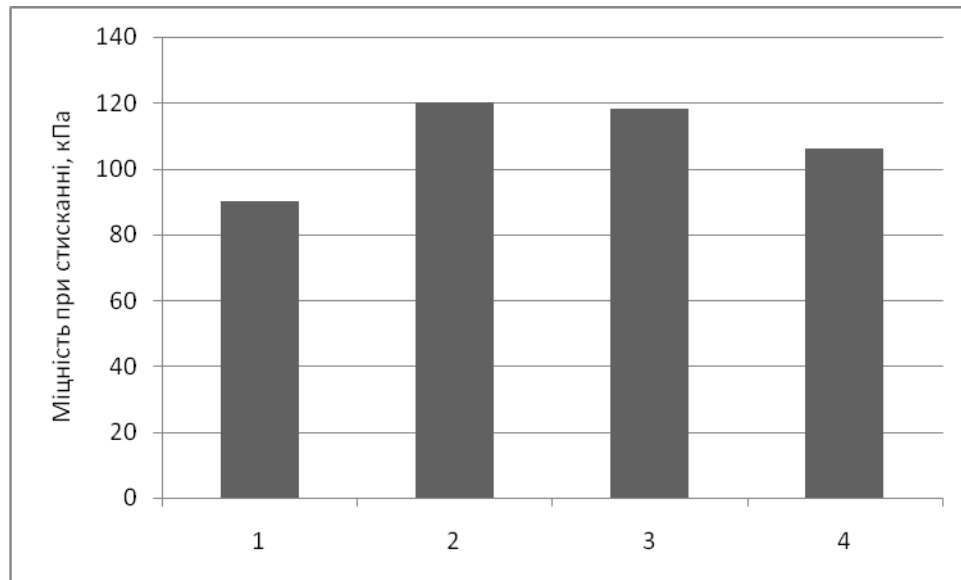
Рисунок 3.7 – Вплив добавок на обсипаємість в сухому стані

### 3.3. Порівняльний аналіз добавок

За результатами експериментів було проаналізовано та відібрано найкраще поєднання властивостей сумішей при оптимальному відсотковому вмісті добавок.

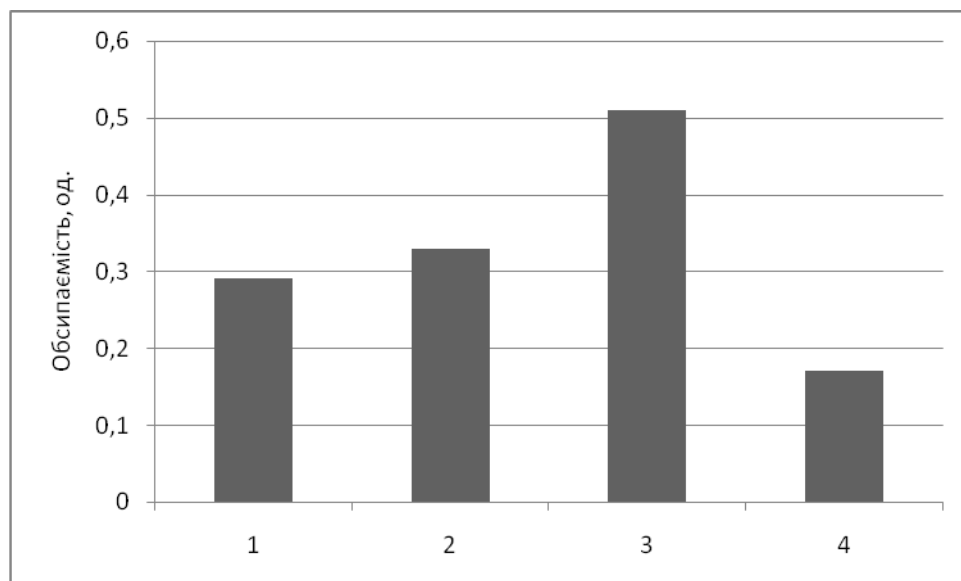
З рис.3.8 бачимо, що кожна із добавок позитивно впливає на міцність при стисканні у сирому стані. ТПФН та ГМФН є поверхнево активними речовинами, які знижують в'язкість глинястих плівок та покращують їх адгезію. ПФН, у свою чергу, є водорозчинним зв'язувальним компонентом, тому має певний позитивний вплив на міцність.

Але в поєднанні з результатами обсипаємість в сирому стані (рис.3.9), через підвищення цієї характеристики при додаванні ПФН ми не можемо рекомендувати цю добавку для формовки по-сирому.



1 – цехова суміш, 2 – суміш з добавкою 1% ТПФН, 3 – суміш з добавкою 0,5% ПФН, 4 – суміш з добавкою 0,5% ГМФН

Рисунок 3.8 – Порівняльний аналіз міцності при стисканні сирової суміші

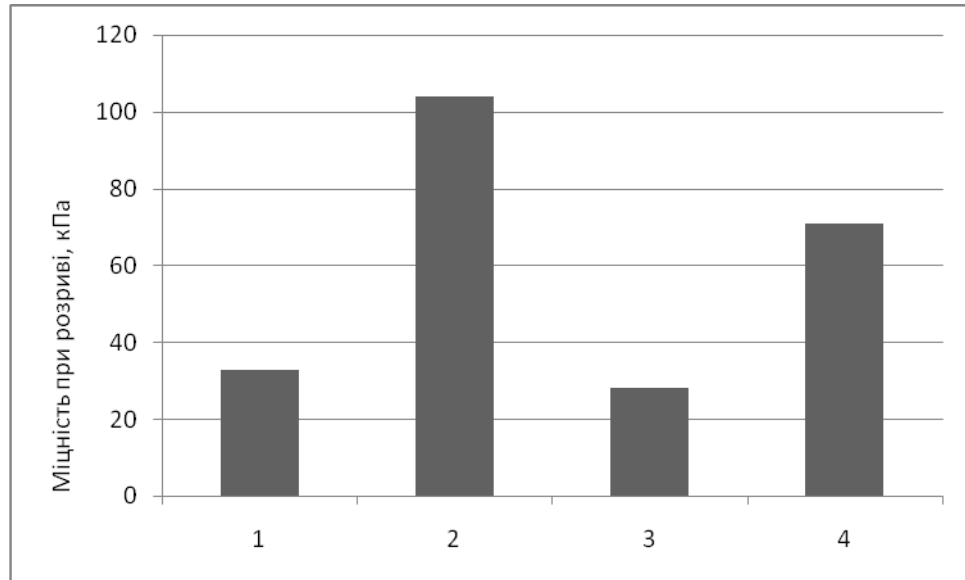


1 – цехова суміш, 2 – суміш з добавкою 1% ТПФН, 3 – суміш з добавкою 0,5% ПФН, 4 – суміш з добавкою 0,5% ГМФН.

Рисунок 3.9 – Порівняльний аналіз обсипаємість сирової суміші

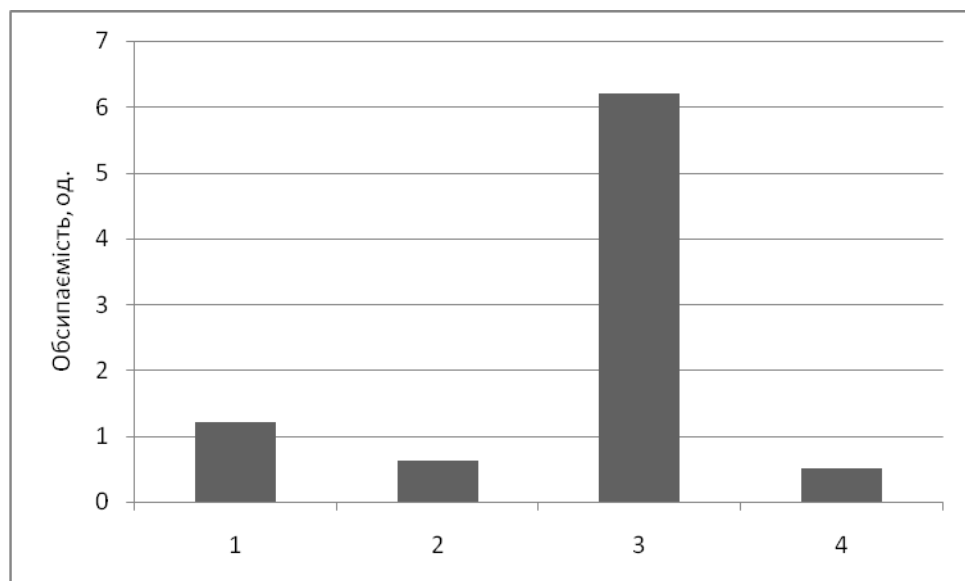
У сухому стані суміш з добавкою ПФН в порівнянні з іншими має найгірші показники. А саме: підвищення обсипаємість в 5 разів, а також зниження міцності на розрив.

Рис. 3.10 та 3.11 ще раз підтверджують, що добавки ТПФН та ГМФН мають позитивний вплив при додаванні в формувальну оборотну суміш. Таке підвищення міцності в поєднанні з низькою обсипаємістю може забезпечити якісне лиття в сухі форми без додаткових зусиль.



1 – цехова суміш, 2 – суміш з добавкою 1% ТПФН, 3 – суміш з добавкою 0,5% ПФН, 4 – суміш з добавкою 0,5% ГМФН

Рисунок 3.10 – Порівняльний аналіз міцності при розриві сухої суміші



1 – цехова суміш, 2 – суміш з добавкою 1% ТПФН, 3 – суміш з добавкою 0,5% ПФН, 4 – суміш з добавкою 0,5% ГМФН

Рисунок 3.11 – Порівняльний аналіз обсипаємісті сухої суміші

### 3.4. Застосування добавок для лиття чавуну та алюмінієвих сплавів

Згідно проведених експериментів із визначення властивостей оборотних сумішей з технологічними добавками, встановлено позитивний вплив від додавання ТПФН у кількості 1,0% та ГМФН у кількості 0,5%.

Було приготовлено по 50 кг сумішей із цими добавками. Для цього використано вибіту із опок суху обороту суміш, глинясту суспензію, полімерні фосфати натрію у вказаній кількості. Паралельно приготували суміш без добавок. Тривалість перемішування 5 хв.

Виготовлення ливарних форм із вказаних сумішей здійснювали відразу після сумішоприготування, на наступний день та протягом тижня після сумішоприготування. Суміші з добавками проявили достатню живучість, у них не відбулося жодних перетворень або процесів, які ускладнюють виготовлення форм.

Форми для заливання алюмінієвим сплавом АК12 виготовляли за металевими роз'ємними моделями у парних опоках. Заливання форм здійснювали у сирому стані відразу після їх виготовлення і складання. Виливки показано на рис. 3.12, 3.13.



Рисунок 3.12 – Виливки із алюмінієвого сплаву (вигляд зверху)



Рисунок 3.13 – Виливки із алюмінієвого сплаву (вигляд знизу)

Візуальний контроль показав різницю у якості литих поверхонь деталей виготовлених у формах з добавкою (виливок праворуч) і без неї (виливок ліворуч).

Форми для заливання чавуном різного хімічного складу виготовляли за дерев'яними моделями у парних опоках (рис. 3.14). Півформи піддавали сушінню у цеховому сушилі з температурою робочого простору близько 150 °С. Заливання здійснювали у сухі форми із застосуванням методів внутрішньоформового модифікування з метою отримання у виливках структури білого, сірого та високоміцного чавуну, що є складовою частиною експериментальної науково-дослідної роботи кафедри.





Рисунок 3.14 – Форма для заливання чавуном з добавкою 1,0% ТПФН

Для виливків типу «Вертикальна плита» тільки форми з добавками поліфосфатів натрію забезпечують їх виготовлення без дефектів (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 – Виливок із чавуну, виготовлений у формі з 1,0% ТПФН



Через особливості процесу заливання, який передбачає пошарове заповнення форми із паузами між етапами заливання, значне теплове випромінювання розплаву спричиняє відшарування суміші у верхній півформі та утворення у виливках ужимин, зовнішніх та внутрішніх піщаних раковин (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Виливок із чавуну виготовлений у формі без добавок

Усі ці дефекти відсутні при використанні наших добавок. Крім значного підвищення міцності та зниження обсипаємості у сухому стані, вони забезпечують значне зміцнення поверхні форми під дією тепла розплаву (на рис 3.17 чітко видно зміцнену кірку на поверхні форми).



Рисунок 3.17 – Вид нижньої півформи після заливання

Після зміцнення поверхні форми її відшарування або руйнування стає неможливим. Крім цього, добавки захищають поверхню виливка (а він має товщину понад 50 мм) від пригару (рис. 3.19), для порівняння наведено виливок, верхню півформу для якого виготовлено із суміші з рідким склом (рис. 3.18).



Рисунок 3.18 – Виливок, виготовлений із застосуванням верхньої півформи на рідкому склі



Рисунок 3.19 – Виливок, виготовлений у формі з добавкою 1,0% ТПФН

Якість виготовлених виливків у формах із використанням добавок в цілому набагато вища, ніж у формах із традиційної оборотної суміші. Таким чином, досліджені добавки слід рекомендувати для використання у формувальних сумішах для удосконалення процесів лиття у форми по-сухому.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Вступ

Невід'ємною частиною організації праці і виробництва є охорона праці. Вона вимагає створення таких умов трудової діяльності, при яких виключається вплив на працюючий персонал небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Крім того, охорона праці включає організаційні і технічні заходи, спрямовані на усунення причин травматизму і захворювань робітників та службовців на виробництві, створення для них безпечних умов, поступову ліквідацію шуму і вібрацій, запиленості виробничих приміщень, будівництво і реконструкцію санітарно-побутових приміщень, поліпшення забезпечення робітників засобами індивідуального захисту. Усе це в комплексі підвищує продуктивність праці людини і зберігає її здоров'я [16].

Метою розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» є аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які існують при дослідженні впливу добавок (триполіфосфату натрію, гексаметафосфату натрію, пірофосфату натрію) на оборотну формувальну суміш після багаторазового використання, а також розробити заходи і засоби для їх усунення. Досягається це опрацюванням питань техніки безпеки, виробничої санітарії, пожежної безпеки в умовах, пов'язаних з темою роботи. Тому слід розглянути фактори, та чинники, які можуть негативно відобразитися на самопочутті, здоров'ї людини та призвести до виникнення професійних захворювань.

Основною задачею роботи є покращення властивостей суміші у стані після сушки. Для дослідження обрано полімерні фосфати натрію, які виробляються хімічною промисловістю у достатній кількості (зазвичай використовуються як добавки до пральних порошків, також як харчова добавка). Експеримент проводили таким чином: відбирали суміш 3 кг, ділили

на 4 різні проби, в кожен з яких додавали 0,5%, 1,0%, 1,5% та 2,0% та перемішували в котковому змішувачі. Визначали фізико-механічні та технологічні властивості. Таким чином дослідили властивості суміші з кожною добавкою.

## 4.2 Аналіз параметрів мікроклімату в приміщенні

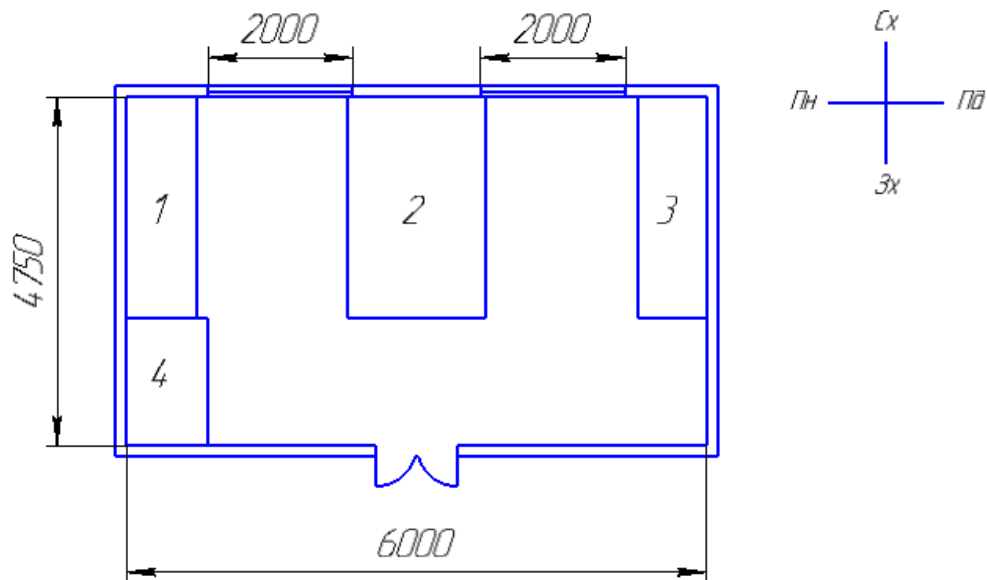
Робота проводиться в навчальному корпусі №9, в науково-дослідній лабораторії формувальних матеріалів 02, характеристики приміщення в якому знаходиться робоче місце зведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри науково-дослідної лабораторії

|                |      |
|----------------|------|
| Довжина, м     | 6    |
| Ширина, м      | 4,75 |
| Висота, м      | 3,2  |
| Площа, м. кв.  | 28,5 |
| Об'єм, м. куб. | 91,2 |

Відповідно до основних вимог до будівель виробничого призначення, які викладені в СНиП 2.09.02-85 [18], висота виробничих приміщень повинна бути не менше 3,2 м, а об'єм і площа – 15 м<sup>3</sup> та 4,5 м<sup>2</sup> відповідно на кожного працівника.

В нашому випадку площа приміщення складає  $S = 6 \cdot 4,75 = 28,5 \text{ м}^2$ , а об'єм приміщення  $V = 6 \cdot 4,75 \cdot 3,2 = 91,2 \text{ м}^3$ . Під час досліджень в лабораторії працює 2 людини, звідки ми отримуємо, що площа на одну людину складає  $S_{\text{ч}} = 28,5/2 = 14,25 \text{ м}^2/\text{чол.}$ , а об'єм –  $V_{\text{ч}} = 91,2/2 = 45,6 \text{ м}^3/\text{чол.}$



1 – робочий стіл із котковим змішувачем та з приладом для вимірювання обсіпаємості; 2 – робочий стіл з копром, приладом для вимірювання вологості, приладом для вимірювання міцності; 3 – робочий стіл з мікроскопами; 4 – сушильна шафа

Рисунок 4.1 – План лабораторії формувальних матеріалів 02-9

Отже, згідно СНиП 2.09.02-85, приміщення за геометричними параметрами відповідає основним вимогам до будівель виробничого призначення. План приміщення представлений на рис. 4.1.

Робота, яка виконується у лабораторії, відноситься до категорії середньої важкості Па, оскільки робота пов'язана з ходінням, переміщенням дрібних (до 1 кг) виробів або предметів у положенні сидячи або стоячи і які потребують незначного фізичного напруження. Енерговитрати організму становлять 151...200 ккал/год. Значення показників температури, відносної вологості та швидкості руху повітря для категорії робіт середньої важкості Па у лабораторії 02 відповідають допустимим вимогам встановлених для постійного робочого місця в холодний та теплий період року.

Дані умови мікроклімату виконуються завдяки встановленому водяному опаленню у холодний період року та штучній припливно-витяжній вентиляції у теплий період року. При роботі обладнання відбуваються деяке

відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних, зазначених у табл. 4.2, однак вони знаходяться у допустимих межах, встановлених ДСН 3.3.6.042-99 [19].

Таблиця 4.2 – Параметри мікроклімату

| Категорія робіт          | Параметр мікроклімату         | Період року | Нормовані значення мікроклімату ДСН 3.3.6.042-99 |                   | Дані вимірювань | Висновки |
|--------------------------|-------------------------------|-------------|--|-------------------|-----------------|----------|
|                          |                               |             | оптим.   | допуст.           |                 |          |
| Середньої важкості<br>Па | Температура, °C               | холодний    | 18...20  | 17...23           | 17              | допуст.  |
|                          |                               | теплий      | 21...23  | 18...27           | 22              | оптим.   |
|                          | Відносна вологість повітря, % | холодний    | 40...60  | 75                | 73              | допуст.  |
|                          |                               | теплий      | 40...60  | 65                | 58              | оптим.   |
|                          | Швидкість руху повітря, м/с   | холодний    | 0,2  | Не більше ніж 0,3 | 0,1             | оптим.   |
|                          |                               | теплий      | 0,3  | 0,2...0,4         | 0,2             | допуст.  |

Отримані дані вимірювань параметрів мікроклімату показали, що показники не виходять за межі допустимих значень для холодного періоду року, а для теплого періоду є оптимальними.

### 4.3 Аналіз освітленості приміщення

Як відомо освітлення поділяється на природне та штучне. В свою чергу природне освітлення, тобто те яке створене прямими сонячними променями поділяється на бокове, верхнє, комбіноване. Штучне освітлення, створене електричними джерелами світла, яке поділяється за функціональним призначенням на робоче, чергове, аварійне, евакуаційне, охоронне [16].

Природне освітлення, в даній лабораторії, одностороннє бокове, як видно з рис. 4.1.

Параметри приміщення 6x4,75x3,2 розряд зорових робіт середньої точності, нормоване значення освітленості на робочому місці  $E_n = 200$  лк.

На фізичний стан людини та на її працездатність впливає надмірне чи недостатнє освітлення. Недостатня освітленість робочих місць, є однією з причин низької продуктивності праці. У цьому випадку очі працівника сильно напружені, важко розрізняють оброблювані предмети, у людини знижується темп і якість роботи, погіршується загальний стан. В свою чергу надмірна освітленість призводить до засліплюваності, яка характеризується різкою подразнювальною дією і різню в очах, при цьому очі працівника швидко втомлюються і зорове сприймання погіршується [17].

#### **4.4 Аналіз рівня шуму**

У лабораторії є джерела шуму: коткові змішувачі, копри, прилад для визначення міцності, прилад для визначення вологості, прилад для визначення обсипаємості.

За часовою характеристикою шум відноситься до непостійного переривчастого. При переривчастому шумі рівень звуку може різко падати до фонового рівня, а довжина інтервалів, коли рівень залишається постійним і перевищує фоновий рівень, досягає 1 с та більше. За походженням шум поділяється на електромагнітний (джерело – електроустаткування) та механічний (джерело – гідравлічні преси). При одночасній роботі всього устаткування рівень шуму може перевищувати допустимі норми ДСН 3.3.6.037-99 [20], що призводить до виникнення профзахворювань.

Шум може викликати різні загально біологічні подразнення, патологічні зміни, функціональні розлади та механічні ушкодження. Під час роботи в шумних умовах продуктивність ручної роботи може знизитись до 60%, а при розрахунках – до 50%. При тривалій роботі в шумних умовах перш за все уражаються нервова та серцево-судина система та органи дихання.

Для зменшення шкідливого впливу виробничого шуму на працівників шумних виробництв застосовують звуко- і віброізоляцію, звуко- і вібропоглинання та глушники шуму.

#### **4.5 Аналіз запиленості повітря робочої зони пилом**

При змішуванні, дозуванні та пресуванні можливе утворення сілікатовмісного пилу, пилу з полімерних фосфатів ( $5,3 \text{ мг/м}^3$ , при нормативному значенні  $6 \text{ мг/м}^3$ ). Пил впливає на організм людини переважно як фіброгенний фактор, що викликає подразнення слизових оболонок, дихальних шляхів та осідаючись в легенях практично не потрапляє до кровообігу внаслідок поганої розчинності в біологічних середовищах. Найбільшу небезпеку чинить дрібнодисперсний пил. Такий пил, на відміну від крупнодисперсного, практично не осідає в повітрі приміщення, а знаходиться у підвішеному стані і легко потрапляє до легень.

Чистота повітря в лабораторії визначається вмістом пилу і шкідливих речовин. У ГОСТ 12.1.005-88 [21] встановлені гранично допустимі концентрації шкідливих речовин  $q_{ГДК}$  ( $\text{мг/м}^3$ ) в повітрі робочої зони виробничих приміщень.

Гігієнічне нормування шкідливих речовин проводять по граничнодопустимих концентраціях (ГДК,  $\text{мг/м}^3$ ) у відповідності з нормативними документами. Для робочих місць визначається гранично допустима концентрація в робочій зоні  $ГДК_{рз}$  (ГОСТ 12.1.005-88, СН245-71).

Концентрація шкідливих речовин, що впливають на організм людини, в лабораторії в умовах експерименту не перевищує гранично допустимих концентрацій. Для запобігання попадання пилу у дихальні шляхи рекомендується при змішуванні та дозуванні використовувати респіратор (СН245-71) [22]. Використовували протипилові респіратори. Всі шкідливі речовини, які створюють пил, зберігаються в посуді, що щільно закривається



у витяжній шафі. Особи, що піддаються впливу пилу забезпечувались спецодягом.

#### 4.6 Електробезпека

У лабораторії 02-9 використовується струм напругою 220 В для живлення коткового змішувача, приладу для визначення вологості та приладу для визначення обсипаємості. Опір ізоляції силових та освітлювальних електропроводів повинен бути не менше 0,5 МОм.

Категорія приміщення визначається наявністю в приміщенні чинників підвищеної або особливої небезпеки електротравм. До чинників підвищеної небезпеки належать: температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35 °С; відносна вологість більше 75%, але менше повного насичення (100%); струмопровідна підлога — металева, бетонна, цегляна, земляна тощо; струмопровідний пил; можливість одночасного доторкання людини до неструмовідних частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею. Лабораторія 02-9 належить до приміщення з підвищеною небезпекою електротравм.

Можливими випадками ураження електричним струмом у даній лабораторії є пробій на корпусі або пошкодження проводки установок, відсутність заземлення електричного обладнання або пошкодження розетки.

Основні чинники електричного характеру це:

а) величина струму – гранично допустимий струм, який може пройти через людину, при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинен перевищувати 0,3 мА для перемінного струму і 1 мА для постійного;

б) величина напруги – гранично допустима напруга для людини при нормальному (неаварійному) режимі роботи електроустановки не повинна перевищувати 2...3 В для перемінного струму і 8 В для постійного;

в) електричний опір тіла людини;

г) частота і рід струму.

Основними чинниками неелектричного характеру є шлях струму через людину, індивідуальні особливості і стан організму людини, час, раптовість і непередбачуваність дії струму.

Чинниками виробничого середовища, які впливають на небезпеку ураження людини електричним струмом, є температура повітря в приміщенні, вологість повітря, запиленість повітря, наявність в повітрі хімічно активних домішок тощо.

Для забезпечення безпеки використання електроустановок необхідне точне дотримання правил технічної експлуатації та проведення заходів щодо захисту від електротравматизму. Важливе значення для захисту від випадкових дотиків має ізоляція струмоведучих частин і деталей, а також заземлення електричного обладнання.

#### **4.7 Пожежна безпека**

Пожежа – це неконтрольоване горіння поза спеціальними осередками, що розповсюджується в часі і просторі. У даній лабораторії можливі пожежі класу А (горіння твердих речовин).

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 [23] приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою відноситься до категорії Д (негорючі речовини та матеріали в холодному стані).

Можливими причинами виникнення пожеж у приміщенні лабораторії можуть бути: коротке замикання в електричних ланцюгах, порушення правил пожежної безпеки при використанні побутових електронагрівальних приладів.

В споруді передбачені технічні (лабораторія оснащена автоматичною пожежною сигналізацією, лабораторія обладнана внутрішнім протипожежним водопроводом), організаційні (розроблено інструкції про міри пожежної безпеки, вивішені на поверхах плани евакуації (рис. 4.2), створено пожежно-технічну комісію) та режимні (обмеження числа осіб, що

здійснюють експлуатацію устаткування, виділено визначені місця для паління) заходи щодо забезпечення пожежної безпеки.

У приміщенні лабораторії встановлено 4 пожежні сигналізатори ИП-105, сигнал з яких надходить на основну панель пожежної сигналізації. Сигналізатори ИП-105 спрацьовують на підвищення температури до  $t = 72\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У коридорі знаходиться пожежний кран із приєднаним пожежним рукавом.

Відповідно до ДБН В.1.1-7-2002[24] будівля відноситься до I ступеня вогнестійкості (будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів). На рис. 4.2 представлено план евакуації з приміщення.

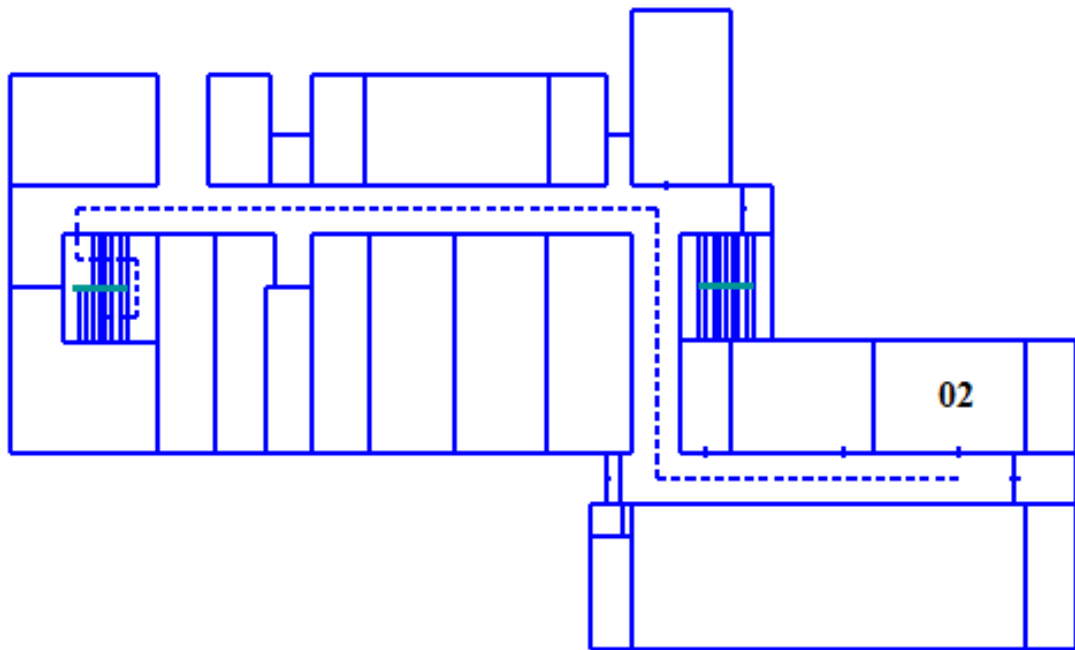


Рисунок 4.2 – План евакуації з приміщення

#### 4.8 Забезпечення безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям

Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій – це підготовка та реалізація комплексу правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів,

спрямованих на регулювання безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення надзвичайної ситуації на основі даних моніторингу (спостережень), експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у надзвичайну ситуацію або пом'якшення її можливих наслідків. Зазначені функції запобігання надзвичайним ситуаціям техногенного та природного характеру в нашій країні виконує Єдина державна система запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 3 серпня 1998 р. № 1198. [25, 26]

#### **4.8 Висновки**

1. В даній роботі проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, які передбачають умови, при яких може виникнути небезпека ураження організму.
2. Запропоновано заходи уникнення травмування
3. Встановлено, що мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та теплові випромінювання не перевищують допустимих норм.

14. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін. Основи охорони праці: підручник. – К.: Основа, 2011. – 474 с.
15. Закон України «Про охорону праці».
16. СНиП 2.09.02-85\*. Виробничі будівлі.
17. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
18. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
19. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
20. СН245-71. «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».
21. НАБП Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною небезпекою.
22. ДБН В.1.1-7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
25. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації/ Є.П Желібо, Н.М. Заверуха, В.В. Зацарний за ред. Є.П.Желібо . – Київ: «Каравела» – 2001. – 320 с.
26. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей., та ін. За ред. В. Ц. Жидецького. – Львів. – 2000. – 352 с.

## 5 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

Після багаторазової експлуатації у формувальних сумішах накопичується значна кількість небажаних домішок (пил, вуглецеві та органічні добавки, неактивна глина, тощо). Вони знижують міцність, газопроникність та технологічні властивості сумішей, призводять до появи у виливках дефектів.

Лабораторна суміш використовується багато років із невеликим відсотком освіження. Її властивості далекі від належного рівня. Для чавунного і сталевого литва форми піддають сушінню при температурі 150...160 °С, після чого спостерігається висока обсипаємість (до 5%), і якість литва не може бути задовільною.

Для покращення комплексу властивостей у стані після сушки, як визначено із літературних джерел, можна використати добавки у невеликій (не більше 2%) кількості. Основне призначення добавок – збільшення міцності і зниження обсипаємість у сухому стані, без погіршення основних показників у сирому стані. Крім цього, добавка має не змінювати консистенції та основних властивостей суміші при багаторазовому повторному використанні.

В цьому плані актуально перевірити полімерні фосфати натрію, які виробляються хімічною промисловістю у достатній кількості. Деякі із них (зокрема, триполіфосфат і гексаметафосфат) знайшли застосування під час приготування сумішей, але більше як технологічні добавки у бентонітових суспензіях. Як матеріали, які впливають на властивості суміші в цілому, їх не розглядали. Крім них, у попередніх роботах кафедри синтезовано новий зв'язувальний компонент на основі триполіфосфату натрію, призначений для виготовлення стрижнів, які зміцнюються при нагріванні до 150 °С. Оскільки ця температура співпадає із умовами сушки ливарних форм, даний матеріал вибрано також як технологічну добавку у цій роботі.

Метою роботи є вивчення впливу добавок поліфосфатів натрію на властивості оборотної піщано-глинястої суміші у сирому і сухому стані для підвищення якості виливків із залізовуглецевих і алюмінієвих сплавів.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані наступні задачі:

1. Проаналізувати властивості існуючої оборотної суміші у сирому і сухому стані та визначити показники, які найбільш негативно впливають на якість литва.
2. Дослідити вплив трьох добавок (триполіфосфату натрію; гексаметафосфату натрію; зв'язувального компонента на основі триполіфосфату натрію) у кількості до 2,0% на властивості суміші у сирому та у сухому стані.
3. Визначити найбільш ефективний матеріал із поліфосфатів натрію та його оптимальну кількість для покращення комплексу властивостей.
4. Виготовити ливарні форми для заливання чавуном та алюмінієвим сплавом і встановити вплив добавок на якість поверхонь одержаних виливків.
5. Розробити рекомендації щодо застосування добавок поліфосфатів натрію для приготування оборотної піщано-глинястої суміші.

## **5.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження**

### **5.2.1 Витрати на оплату праці**

Розрахунок витрат на оплату праці науково-дослідницького персоналу базується на визначенні трудомісткості окремих робіт по темі роботи та їхньої заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах магістерської дисертації) [27].

У випадку відсутності відповідних розрахункових методик трудомісткість різних етапів виконання магістерської дисертації

встановлюється на базі експертних оцінок, які дають провідні фахівці. При цьому НДР розглядається як сукупність макроетапів, аналіз кожної окремої операції не проводиться. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів НДР наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Трудомісткість етапів магістерської дисертації

| Найменування робіт по темі дослідження                 | Трудомісткість, людино-днів              |   |                                     |                       |
|--|--|---|-------------------------------------|-----------------------|
|  | доцент,<br>кандидат<br>технічних<br>наук | асистент<br>викладача,<br>без<br>наукового<br>ступеню | інженер –<br>дослідник<br>(магістр) | технік 1<br>категорії |
| Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження | 1  | 2   | 3                                   | -                     |
| Аналіз науково-технічних публікацій з теми             | 2  | 4   | 12                                  | -                     |
| Розробка методики проведення роботи                    | 2  | 2   | 2                                   | 5                     |
| Підготовка компонентів суміші                          | 1  | 2   | 10                                  | -                     |
| Приготування суміші. Виготовлення зразків              | -  | 2   | 25                                  | -                     |
| Дослідження зразків                                    | 2  | 4   | 15                                  | -                     |
| Оброблення та обговорення результатів                  | 5  | 7   | 20                                  | -                     |
| Всього   | 13                                       | 23  | 87                                  | 5                     |

Під час виконання магістерської дисертації було задіяно чотири виконавці: доцент, кандидат технічних наук; асистент викладача, без наукового ступеню; інженер-дослідник (магістр) та технік 1 категорії. Місячні посадові оклади заробітної плати співробітників кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» наведені в табл. 5.2.



Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2 дні. Величина денної заробітної плати виконавців роботи наведена в табл. 5.2.

Величина заробітної плати виконавців (ФЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них:

$$\text{ФЗП} = 13 \cdot 516,23 + 23 \cdot 421,13 + 87 \cdot 0 + 5 \cdot 223,13 = 17512,63 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

| Посада виконавців теми                      | Планова трудомісткість, людино-днів | Заробітна плата, грн     |                        |                       |
|---|-------------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
|   |                                     | посадовий місячний оклад | середньоденна зарплата | усього за виконавцями |
| доцент, кандидат технічних наук             | 13                                  | 10944,00                 | 516,23                 | 6710,99               |
| асистент викладача, без наукового ступеню   | 23                                  | 8928,00                  | 421,13                 | 9685,99               |
| інженер–дослідник (магістр)                 | 87                                  | 0,00                     | 0,00                   | 0,00                  |
| технік 1 категорії                          | 5                                   | 4731,00                  | 223,13                 | 1115,65               |
| Разом оплата праці науково дослідної роботи |                                     |                          |                        | 17512,63              |

### 5.2.2 Єдиний соціальний внесок

Згідно з діючим законодавством України єдиний соціальний внесок складає 22,0% від заробітної платні.

$$B_c = 0,22 \cdot 17512,63 = 3852,78 \text{ грн}$$

### 5.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Для виготовлення експериментальних зразків були використані наступні матеріали: триполіфосфат Na, гексаметафосфат Na, зв'язувальний компонент, синтезований з  $\text{H}_3\text{PO}_4$  та  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ . (пірофосфат Na) Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Вартість основних матеріалів

| Найменування       | Одиниця вимірювання | Кількість | Ціна, грн | Сума, грн |
|--------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| триполіфосфат Na   | кг                  | 0,15      | 50        | 7,5       |
| гексаметафосфат Na | кг                  | 0,15      | 45        | 6,75      |
| пірофосфат Na      | кг                  | 0,15      | 70        | 10,5      |
| Всього             |                     |           |           | 14,75     |

### 5.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

В роботі використовували наступні прилади та обладнання: електронні ваги; муфельна піч МП-2 ; лабораторний копер моделі 030М; котковий змішувач моделі 018М; сито для просіювання оборотної суміші; прилад моделі 029 для ситового аналізу; прилади для визначення міцності при стисканні; прилад для визначення обсипаємості; прилад для визначення газопроникності; гільзи для виготовлення зразків; прилад для визначення вологості.

Дане обладнання було придбано раніше і використовується для виконання інших магістерських дисертацій, тому витрати на придбання, утримання та експлуатацію обладнання відносяться до статті «накладні витрати».

### 5.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій

У виконанні даної магістерської дисертації сторонні організації участі не приймали.

### 5.2.6 Витрати на службові відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням магістерської дисертації за даною темою, проведені на кафедрі ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського. Окремі службові відрядження не планувались.

### 5.2.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат

Інші прямі невраховані витрати ( $C_{\text{інш}}$ ) плануються у розмірі 10% від врахованих.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (ЗП + V_C + C_M), \quad (5.1)$$

де ФЗП – фонд заробітної плати;

$V_C$  – єдиний соціальний внесок;

$C_M$  – повна сума витрат на матеріали.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (17512,63 + 3852,78 + 14,75) = 2138,02 \text{ грн.}$$

### 5.2.8 Накладні витрати

До накладних витрат (НВ) відносяться витрати на заробітну плату адміністративно-управлінського, господарчого та допоміжного персоналу (разом з єдиним соціальним внеском), витрати на допоміжні виробництва, видатки на охорону праці, техніку безпеки та екологію, фінансування підготовки кадрів, воєнізованої охорони і деякі інші.

Норматив відрахувань на накладні витрати на кафедрі ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 16% планової суми прямих витрат по темі НДР.

Розраховуємо величину накладних витрат наступним чином:

$$H_B = 0,16 \cdot (\Phi ЗП + B_C + C_M + C_{\text{інш}}), \quad (5.2)$$

де  $\Phi ЗП$  – фонд заробітної плати;

$B_C$  – єдиний соціальний внесок;

$C_M$  – повна сума витрат на матеріали;

$C_{\text{інш}}$  – інші прямі невраховані витрати.

$$H_B = 0,16 \cdot (17512,63 + 3852,78 + 14,75 + 2138,02) = 3762,91 \text{ грн.}$$

### 5.2.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість НДР визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Калькуляція планової кошторисної вартості НДР за темою

| Найменування калькуляційних статей       | Позначення        | Сума     |       |
|--|-------------------|----------|-------|
|  |                   | грн.     | %     |
| Загальна заробітна плата                 | ФЗП               | 17512,63 | 64,21 |
| Єдиний соціальний внесок                 | В <sub>С</sub>    | 3852,78  | 14,13 |
| Матеріали, необхідні для виконання НДР   | С <sub>М</sub>    | 14,75    | 0,03  |
| Спеціальне обладнання для наукових робіт | С <sub>ОБ</sub>   | -        |       |
| Робота і послуги сторонніх організацій   | С <sub>СТОП</sub> | -        |       |
| Витрати на службові відрядження          | С <sub>ВІД</sub>  | -        |       |
| Інші прямі невраховані витрати           | С <sub>ІНШ</sub>  | 2138,02  | 7,84  |
| Накладні витрати                         | Н <sub>В</sub>    | 3762,91  | 13,79 |
| Всього                                   |                   | 27281,09 | 100   |

Згідно з табл. 5.3 загальна планова кошторисна вартість НДР складає:  
 $V_{\text{НДР}} = 27281,09$  грн.

### **5.3 Визначення очікуваних результатів НДР та розрахунок показників економічної ефективності**

Кінцевим результатом магістерської дисертації є досягнення наукового, науково-технічного, економічного, соціального, екологічного ефектів. Дана наукова дослідна робота являє собою частину комплексної теми, у зв'язку з цим розрахунок прямої ефективності її результатів не виконується. У цьому випадку можна застосувати оцінку умовної ефективності по окремих її характеристиках:

- важливість розробки (K1);
- можливість використання результатів розробки (K2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K3);
- складність розробки (K4).

Шкала для оцінки важливості розробки K1:

1. Ініціативна робота, яка не є, а ні частиною комплексної програми, а ні завданням директивних органів – 1;
2. Робота, яка виконується за договором про науково-технічні допомоги – 3;
3. Робота представляє собою частину відомчої програми – 5;
4. Робота представляє собою частину відомчої комплексної програми – 7;
5. Робота виконується як частина міжнародної комплексної програми – 8;

Приймаємо показник важливості розробки  $K1 = 5$ .

Шкала для оцінки можливості використання результатів розробки K2:

1. Результати розробок можуть бути використані в даному підрозділі – 1;
2. Результати розробки можуть бути використані в даній організації – 3;

3. Результати розробки можуть бути використані в багатьох організаціях – 5;

4. Результати розробки можуть бути використані в масштабах галузі – 8;

5. Результати розробки можуть бути використані в багатьох різноманітних галузях – 10;

Приймаємо показник  $K2 = 5$ .

Шкала для оцінки теоретичної значимості і рівня нововведення  $K3$ :

1. Аналіз узагальнення і класифікація відомої інформації, подібні результати були відомі в досліджуваній області – 2;

2. Одержання нової інформації, що доповнить подання про суттєвість досліджуваних процесів, не відомої в дослідницькій області – 3;

3. Одержання нової інформації, яка частково міняє уявлення про суттєвість дослідження процесів, не відомих раніше – 5;

4. Створення нових теорій, методик і т. п. – 6;

5. Одержання інформації, яка служить формуванню нових напрямків – 8;

Приймаємо показник  $K3 = 5$ .

Шкала для оцінки показників складності дослідження  $K4$ :

1. Робота виконується одним підрозділом, витрати менше 20 тис.грн. – 1;

2. Робота виконується одним підрозділом, витрати 20...100 тис.грн. – 3;

3. Робота виконується одним підрозділом, витрати 100...200 тис.грн. – 5;

4. Робота виконується з урахуванням багатьох підрозділів, витрати від 200 тис.грн. до 1 млн.грн. – 7;

5. Робота виконується декількома організаціями, витрати понад 1млн.грн. – 9.

Приймаємо показник  $K4 = 3$ .

Загальна оцінка (Б) визначається як добуток коефіцієнтів :

$$B = K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4, \quad (5.3)$$

де  $K1$  – важливість розробки;

$K2$  – можливість використання результатів розробки;

К3 – теоретичне значення та рівень новизни;

К4 – складність розробки.

$$Б = 5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 3 = 375 .$$

Умовний річний економічний ефект магістерської дисертації визначається:

$$\epsilon_{\text{НДР}} = 500 \cdot Б - E_{\text{Н}} \cdot V_{\text{НДР}}, \quad (5.4)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

$E_{\text{Н}}$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ( $E_{\text{Н}} = 0,15 \div 0,5$ , для нашого розрахунку обираємо  $E_{\text{Н}} = 0,50$  );

$V_{\text{НДР}}$  – витрати на виконання НДР (планова річна кошторисна вартість виконання НДР, для нашого розрахунку  $V_{\text{НДР}} = 27281,09$  грн.).

Таким чином, умовний економічний ефект відповідно (5.4) становить:

$$\epsilon_{\text{НДР}} = 500 \cdot 375 - 0,50 \cdot 27281,09 = 173859,46 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом ефективності  $E$ , який характеризує частку загального ефекту від розробки на умовну одиницю витрат:

$$E_{\text{НДР}} = \epsilon_{\text{НДР}} / V_{\text{НДР}}, \quad (5.5)$$

Підставивши значення у формулу (5.5) знайдемо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = 173859,46 / 27281,09 = 6,37$$

Отже, судячи з розрахованого коефіцієнта, виконання даної НДР є економічно обґрунтованим.

## 5.4 Висновки

1. Розраховано планову кошторисну вартість магістерської дисертації.
2. Проведено економічний аналіз ефективності даної магістерської дисертаційної роботи та виявлено, що дане дослідження є раціональним з економічної точки зору, так як включає використання недорогих матеріалів.

27. Гавриш О.А. Методичні рекомендації до розробки економічної частини дипломних проектів і робіт / О.А. Гавриш, В.І. Кривда, С.В. Нараєвський.// – К.: ІВЦ “Політехніка”. – 2010. – 54 с



## 6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 6.1. Опис ідеї проекту

Розроблено технологію виготовлення ливарних форм із цехових оборотних сумішей з полімерними добавками, для виготовлення виливків із чавуну та алюмінієвих сплавів.

В проекті вперше запропоновано використання полімерних фосфатів натрію як добавок до піщано-глинястих сумішей та отримано позитивні результати щодо підвищення якості виливків із залізовуглецевих та алюмінієвих сплавів. Опис ідеї стартапу описується в табл.6.1.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап проекту

| Зміст ідеї   | Напрямки застосування                    | Вигоди для користувача  |
|--|--|---|
| Відновлення фізико-механічних властивостей суміші у сирому та сухому стані при додаванні незначних кількостей полімерних фосфатів. | Ливарне виробництво будь-якої серійності | <ul style="list-style-type: none"> <li>- зменшений відсоток браку;</li> <li>- простота роботи з сумішшю;</li> <li>- підвищення якості виливків залізовуглецевих та алюмінієвих сплавів</li> </ul> |

На кожному підприємстві є сумішоприготувальна ділянка де готується формувальна суміш для конкретного металу або способу формовки (по-сирому або по-сухому). Але на підприємствах з малосерійним або індивідуальним виробництвом, через економічну недоцільність використання спеціальних сумішей, суміш універсальна. Її не замінюють після багаторазового використання, а лише освіжують. Очевидно, з таким формувальним матеріалом важко досягти належної якості литва. Тому

приймається рішення перейти на новий рівень – відновлення суміші. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту розглянуто в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

| №                   | Техніко- економічні характеристики ідеї | (Потенційні) товари/концепціїконкурентів |                      |                      |
|---------------------|---|--|----------------------|----------------------|
|                     |   | Мій проект                               | суміші з рідкимсклом | піщано-смолянісуміші |
| Економічніпоказники |   |  |                      |                      |
| 1                   | Собівартість сумішей                    | дешевший                                 | дорожчий             | дорожчий             |
|                     |   | S  | W                    | W                    |
| 2                   | Вартість обслуговування обладнання      | низька                                   | середня              | середня              |
|                     |   | S  | N                    | N                    |
| 3                   | Екологічність                           | висока                                   | середня              | низькі               |
|                     |   | S  | N                    | N                    |
| 4                   | Затрати електропостачання               | низькі                                   | низькі               | середні              |
|                     |   | S  | S                    | N                    |

\* W (слабка сторона), N (нейтральна сторона), S (сильна сторона)

Основним чинником виконання даної роботи, є можливість застосування простої та доступної технології виготовлення. Дана технологія повинна мати гарну відтворюваність результатів, та мати економічний ефект при використанні, аналіз технології наведений в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

| №  | Ідея проекту   | Технології реалізації  | Наявність технології   | Доступність технологій |
|--|--|--|--|------------------------|
| 1  | відновлення фізико-механічних властивостей оборотної суміші шляхом додавання невеликої кількості полімерних фосфатів | додавання в суміш у вигляді порошку або водного розчину та подальше перемішування у коткових змішувачах протягом 5 хв. | технологія приготування суміші не відрізняється від попередніх (можливе використання любого типу змішувачів) | доступна технологія    |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: приготування суміші з додаванням 0,5...1,0% полімерних фосфатів |  |  |  |                        |

Приготування суміші проходить за таким самим процесом як і до використання полімерних фосфатів, це забезпечує доступність технології. Її можна рекомендувати підприємствам з будь-якою серійністю. Але ж, звичайно, це доцільно тільки для оборотних піщано-глинястих сумішей.

Також при входженні на ринок слід враховувати цільову аудиторію на яку буде направлений збут товарів та послуг, враховуючи потреби та вимоги споживачів, так як вони формують ринок (табл. 6.4).

Таблиця 6.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| Потреба, що формує ринок   | Цільова аудиторія          | Відмінність у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів                             | Вимоги споживачів до товару   |
|--|----------------------------|---|---|
| Погіршення якості литих виробів при литті в піщано-глинясті сухі форми | Ливарні підприємства, цехи | Провести мінімальний набір експериментів задля визначення точної необхідної кількості добавки | <p>Вимоги до товару:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• низька вартість;</li> <li>• висока зносостійкість;</li> <li>• відповідність вказаним властивостям.</li> </ul> <p>Вимоги до компанії</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• стабільність поставок;</li> <li>• можливість корегування замовленням під час виробництва.</li> </ul> |

Однак, паралельно з перевагами отримання прибутку можуть виникнути загрози зриву проекту, які детально розглянути табл. 6.5.

Як видно з табл. 6.5, найбільшу небезпеку для реалізації результатів роботи становить конкуренція. Вірогідність успіху велика, і це пов'язано з тим фактом, що даний досліджуваний ринок аналогічних технологій не є переповненим.

Таблиця 6.5 – Фактори загроз

| Фактори     | Зміст загрози   | Можлива реакція компанії  |
|-------------|---|---|
| Конкуренція | У ливарному виробництві збільшується рівень конкуренції | Розробка та впровадження інновацій для того, щоб виробляема продукція була більш конкурентоспроможною |

Аналізуючи всі наведені фактори доцільно провести SWOT аналіз, який представлений в табл.6.6 SWOT - аналіз для визначення факторів і явищ, що роблять найбільший вплив на підприємство. Цей етап включає також визначення стадії життєвого циклу продукції, що дозволяє оцінити необхідність вкладень в розробку вдосконалених видів продукції з тим, щоб уникнути погіршення ринкової позиції в майбутньому.

Strengths (Сильні сторони – досвід та вміння, що дають змогу організації задумати та забезпечити виконання її стратегії.),

Weaknesses (Слабкі сторони – досвід і вміння, що не сприяють вибору та втіленню стратегії, потрібної для виконання місії організації. Організація має два шляхи вирішення проблеми «слабких сторін». По-перше, вона може робити інвестиції, щоб отримати перевагу, необхідну для виконання місії. По-друге, можна змінити місію так, щоб її досягти за допомогою досвіду й умінь, які організація вже має.),

Opportunities (Можливості – це умови середовища, що забезпечують досягнення високого результату),

Threats (Загрози– це умови середовища, що ускладнюють досягнення високих результатів навиків і вмінь).

Для визначення існуючої позиції бізнесу та його частин, а також розробки можливих напрямків розвитку можуть використовуватися моделі портфельного аналізу.

Таблиця 6.6 – SWOT- аналіз стартап-проекту

| Сильні сторони  | Слабкі сторони  |
|---|---|
| Можливість коригування вмісту добавок в залежності від сплавів та форм.       | Апробація була проведена лише для залізовуглецевих та алюмінієвих сплавів. Якщо підприємство виготовляє інші метали або сплави необхідно провести додатковий експеримент. |
| Можливості  | Загрози   |
| Активізація розвитку машинобудування створює передмови для реалізації проекту | Збільшення конкурентності в галузі ливарного виробництва  |

Таким чином, можна побачити що оборотна піщано-глиняста суміш з додаванням полімерних фосфатів натрію на сьогоднішній день є перспективним замінником звичайної оборотної суміші для виготовлення сирих або сухих форм для залізовуглецевих або алюмінієвих сплавів, використання яких може бути реалізоване наливарному підприємстві (або в ливарному цеху) будь-якої серійності. Швидкість реалізації залежить від об'єму оборотної суміші.

## 6.2 Висновки

1. В роботі досліджено можливість ринкової комерціалізації проекту.
2. Розроблений зв'язувальний компонент є перспективним для впровадження у виробництво оскільки він дешевший та екологічний на відміну від зв'язувальних компонентів, які представлені на ринку.
3. Визначено загальні напрями використання та проаналізовано ринкові можливості щодо реалізації бізнес-проекту.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу властивостей оборотної формувальної суміші в лабораторії ливарного виробництва КПІ ім. І. Сікорського встановлено причини значного погіршення якості чавунних і сталевих виливків. Дефекти литва є наслідком незадовільних властивостей суміші в сухому стані.

2. Вперше запропоновано для одночасного покращення властивостей формувальної суміші у сирому та в сухому стані додавання незначних кількостей полімерних фосфатів натрію (від 0,5 до 2,0%).

3. Встановлено, що додавання триполіфосфату натрію у кількості до 1,0% незначною мірою підвищує характеристики міцності в сирому стані, в той час як ці показники у сухому стані значно покращуються. Додавання гексаметафосфату натрію у кількості 0,5% аналогічно підвищує властивості в сухому стані. Вплив даних фосфатів на газопроникність та технологічні властивості (текучість, ущільнювальність, формувальність) є мінімальним.

4. Додавання комплексної добавки, яку отримують спільним термічним обробленням при 150 °С триполіфосфату натрію з ортофосфорною кислотою, не є ефективним для покращення властивостей досліджуваної суміші. Ця добавка є зв'язувальним компонентом із високою питомою міцністю, яка не проявляється у суміші з високим вмістом глинястої складової (близько 20%) та інших забруднень.

5. Забезпечено значне покращення якості виливків, які виготовляють у сухих формах із застосуванням сумішей з добавками 1,0% триполіфосфату або 0,5% гексаметафосфату натрію. Внаслідок зміцнення поверхні форми під дією тепла розплаву на поверхні виливків відсутні пригар і піщані раковини, також немає ужимин і внутрішніх піщаних раковин, які традиційно спостерігались до цього через знеміцнення поверхні форми під час її заливання. Позитивні результати досягнуто на виливках із сірого, білого та високоміцного чавуну, алюмінієвого сплаву.

6. Застосування досліджених у роботі полімерних фосфатів натрію у формувальних сумішах для ливарного виробництва забезпечить покращення екологічної ситуації за рахунок усунення цих сполук із пральних засобів.

7. Встановлено, що мікроклімат, організація робочого місця, освітлення в лабораторії відповідають вимогам санітарних норм, а рівень шуму, вібрацій та теплові випромінювання не перевищують допустимих норм.

8. Проведено економічний аналіз ефективності даної магістерської дисертаційної роботи та виявлено, що дане дослідження є раціональним з економічної точки зору, так як включає використання недорогих матеріалів.

9. Розроблений зв'язувальний компонент є перспективним для впровадження у виробництво оскільки він дешевший та екологічний на відміну від зв'язувальних компонентів, які представлені на ринку.